ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

ANNÉE 1970 N° 80

LE VENT D'AUTAN
STRUCTURE METEOROLOGIQUE
et
EFFETS BIOLOGIQUES

THÈSE

POUR LE DOCTORAT VETERINAIRE

Diplôme d'Etat

Présentée et soutenue publiquement en juillet 1970

DEVANT LA

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE TOULOUSE

PAR

GUILLEMOT Pierre

Né le 30 Juillet 1946 à GOMMENEC'H (Côtes-du-Nord)

Jury : MM.

Président : Y. LAPORTE, Professeur à la Faculté de Médecine de Toulouse

Assesseurs Y. RUCKEBUSCH, Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

R. FLORIO, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

IMPRIMERIE DELORT ET FILS
128, CHEMIN NICOL - TOULOUSE
1970

LE VENT D'AUTAN

STRUCTURE METEOROLOGIQUE

et

EFFETS BIOLOGIQUES

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536511_0059

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

ANNÉE 1970 N° 80

LE VENT D'AUTAN

STRUCTURE METEOROLOGIQUE

et

EFFETS BIOLOGIQUES

THÈSE

POUR LE DOCTORAT VETERINAIRE

Diplôme d'Etat

Présentée et soutenue publiquement en juillet 1970

DEVANT LA

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE TOULOUSE

PAR

GUILLEMOT Pierre

Né le 30 Juillet 1946 à GOMMENEC'H (Côtes-du-Nord)

Jury : MM.

Président : Y. LAPORTE, Professeur à la Faculté de Médecine de Toulouse

Assesseurs Y. RUCKEBUSCH, Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

R. FLORIO, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

IMPRIMERIE DELORT ET FILS
128, CHEMIN NICOL - TOULOUSE
1970

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Directeur .. .. MM. FLORIO
Directeurs honoraires.. .. .. PONS
DARRASPEN

PERSONNEL ENSEIGNANT

Chaire de Pharmacie-Toxicologie.
Professeur titulaire : M. GODFRAIN.
Maître-Assistant : Mme BURGAT-SACAZE.
Pharmacie et Toxicologie.

Chaire de Physique-Chimie Biologiques et Médicales
Professeur titulaire : M. RICO.
Maître-Assistant : M. LORGUE.
Physique biologique et médicale.
Chimie biologique et médicale.

Chaire d'Anatomie des Animaux domestiques.
Professeur titulaire : M. PAVAUX.
Anatomie descriptive. Extérieur.
Anatomie appliquée. Tératologie.

Chaire de Physiologie et Thérapeutique.
Professeur titulaire : M. RUCKEBUSCH.
Maître-Assistant : M. FARGEAS.
Physiologie. Thérapeutique. Pharmacodynamie.

Chaire d'Histologie. Anatomie Pathologique.
Professeur titulaire : M. VAN HAVERBEKE.
Maître de Conférence, non Chef de Service : M. CABANIE.
Histologie. Embryologie. Anatomie Pathologique.

Chaire d'Hygiène et Industrie des Aliments d'Origine animale.
Professeur titulaire : M. LABIE.
Maître-Assistant : M. EECKHOUTTE.
Hygiène, Inspection, Contrôle et Technologie des denrées alimentaires d'origine animale.

Chaire de Parasitologie et Maladies parasitaires.
Professeur titulaire : M. BRIZARD.
Maître-Assistant : M. DORCHIES.
Zoologie appliquée. Parasitologie externe.
Parasitologie interne. Clinique.

Chaire de Sémiologie et Pathologie Médicale des Equidés et Carnivores.
Professeur titulaire : M. FLORIO.
Maître de Conférences non chef de Service.
Professeur sans Chaire : M. LESCURE.
Maître-Assistant : M. GUELFI.
Sémiologie et Pathologie Médicale des Equidés et des Carnivores.
Législation Vétérinaire et Déontologie Clinique.

Chaire de Pathologie Médicale du Bétail et des animaux de basse-cour.
Professeur titulaire : M. TOURNUT.
Maître de Conférence, non Chef de Service : M. ESPINASSE.
Sémiologie et Pathologie Médicale du bétail et des animaux de basse-cour. Clinique
Clinique ambulatoire.

Chaire de Pathologie Chirurgicale.
Professeur titulaire : N.
Maître-Assistant : M. CAZIEUX.
Propédeutique et Sémiologie chirurgicale.
Technique chirurgicale. Pathologie chirurgicale.
Podologie. Clinique.

Chaire de Pathologie de la Reproduction.
Professeur titulaire : M. BERTHELON.
Maître de Conférences, non Chef de Service,
Professeur sans Chaire : M. ROYAL.
Sémiologie et Propédeutique.
Pathologie de la Reproduction.
Obstétrique. Clinique.

Chaire de Maladies Contagieuses. Zoonoses. Législation Sanitaire.
Professeur titulaire : M. SAURAT.
Maître-Assistant : M. CHANTAL.
Maladies contagieuses. Zoonoses.
Législation sanitaire.

Chaire de Pathologie Générale. Microbiologie. Immunologie.
Professeur titulaire : M. LAUTIE.
Pathologie Générale. Microbiologie. Immunologie.

Chaire de Zootechnie et Economie Rurale.
Professeur titulaire : M. QUEINNEC.
Maître-Assistant : M. DARRE.
Ethnologie. Génétique appliquée.
Hygiène générale. Zootechnie. Elevage.
Economie générale et des productions animales.

Chaire d'Alimentation.
Professeur titulaire : M. FALIU.
Maître-Assistant agrégé : M. GRIESS.
Botanique appliquée et Bromatologie.
Agronomie. Alimentation.

COURS COMPLÉMENTAIRES — CHARGÉS D'ENSEIGNEMENT

Antibiothérapie des Maladie infectieuses.
M. MONNIER.

Aspect médical des Zoonoses.
M. ARMENGAUD.

Energétique et Métabolismes.
M. LABOUCHE.

Initiation à l'informatique biomédicale.
M. FRENET.

Agronomie.
M. BRISEBOIS.

Les Marchés Internationaux de l'élevage.
M. BLANC.

Organisation de l'Elevage bovin.
M. SABLAYROLLES.

Responsabilité civile et pénale du Vétérinaire.
Inspecteur des denrées alimentaires.
M. LINON.

Rôle économique des Collectivités locales.
M. EECKHOUTTE.

Rentabilité de l'élevage.
M. ROUCH.

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsables des opinions émises par les candidats (délibération de la Faculté en date du 10 mai 1891 et du Conseil de l'Ecole, en date du 13 juin 1924)

UNIV. LEIDEN BIBL.

« Il faut songer qu'il n'y a point de science qu'on puisse apprendre par la seule lecture sans le secours d'un maître ».

Lettre de CICÉRON à TRIBUTIUS.

AVANT-PROPOS

Les recherches qui font l'objet du résent travail ont été effectuées au Laboratoire de Physiologie-Pharmacodynamie et Thérapeutique de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. M. le Professeur Y. RUCKEBUSCH nous y a accueilli et associé à ses recherches sur la motricité digestive et les états de vigilance chez les Ruminants, Equidés et Porcins. Nous apprécions sa rigueur scientifique, son érudition et sa valeur humaine. Qu'il veuille bien croire à notre profonde reconnaissance.

Nous adressons l'expression de notre gratitude à M. l'Inspecteur Général P. MORNET de l'Institut National de la Recherche Agronomique, qui nous a permis d'effectuer ce travail.

Que M. le Professeur LAPORTE de la Faculté mixte de Médecine et de Pharmacie de Toulouse, qui nous fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse, soit assuré de notre vive reconnaissance.

Que M. le Professeur FLORIO, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, qui nous fait le grand honneur de juger ce travail, trouve ici un témoignage de notre gratitude pour la bienveillance dont il fit preuve à notre égard.

Ce travail nous a permis de bénéficier de l'expérience, des jugements et de la bienveillante critique d'éminents spécialistes : M. CAZALE, Directeur de la Station de Météorologie Nationale de Toulouse-Blagnac, M. le Professeur CURIE, de l'E.N.S.E.E.I.H.T. de Toulouse, M. DAMAGNEZ, Directeur de recherches à la Station de Bioclimatologie de l'I.N.R.A. à Montfavet, M. DARRE, Maître Assistant à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, M .le Professeur FONTAN, du Centre de Physique Atomique et Nucléaire de la Faculté des Sciences de Toulouse. Qu'ils soient assurés de toute notre reconnaissance.

Nous remercions pour leur collaboration, M. BARBEY, Docteur Vétérinaire, M. BUENO, Ingénieur I.N.S.A., M. SERTHELON, Agent technique, ainsi que l'ensemble du Personnel du Service.

Nous voulons rendre un hommage particulier à M. le Professeur E. DELANNOY, Président de l'Académie de Chirurgie. Qu'il nous permette, ici, de l'assurer de notre profonde gratitude.

A ma femme, à notre famille et à tous nos amis, en gage de toute notre affection.

« Une sorte de vent méridional qu'ils appellent aultan qui leur fait l'air grossier et nébuleux ».

A. Paré,

« Sur les playes d'arquebuse ».

1545

INTRODUCTION

La région toulousaine, protégée au Nord par le Massif Central et au Sud par les Pyrénées, est soumise à l'influence presque exclusive de deux vents : un vent d'Ouest et un Vent de Sud-Est. L'alternance de ces deux courants aériens confère une originalité climatologique à cette région, puisqu'elle subit ainsi les influences opposées de l'Atlantique et de la Méditérranée. Malgré son ampleur parfois considérable,le flux océanique est loin de présenter la personnalité de son fantasque et turbulent rival méditerranéen : le *vent d'Autan*.

La première partie sera consacrée à l'examen de la méthodologie climatique et à celui des différentes fonctions biologiques susceptibles d'être interrogées en vue de préciser l'origine et la nature du syndrome vent d'Autan.

Celui-ci se distingue par des particularités météorologiques et des effets biologiques dont l'analyse bibliographique fait l'objet de la seconde partie de ce travail.

Il s'agit, en l'occurence, d'un ensemble de troubles somato-végétatifs dont les variations individuelles sont importantes chez l'Homme et dont la symptomatologie est fruste chez les animaux.

La troisième partie résume les modifications comportementales du vent d'Autan sur l'activité nycthémérale des animaux.

« *Celui qui veut approfondir la médecine doit considérer d'abord les saisons de l'année et l'influence que chacune d'elles exerce* ».

HIPPOCRATE,

« Traité des airs, des eaux et des lieux ».

PREMIERE PARTIE

DONNÉES MÉTHODOLOGIQUES

Méthodologie climatique
Exploration fonctionnelle

CHAPITRE PREMIER

MÉTHODOLOGIE CLIMATIQUE

La biométéorologie est un domaine où les difficultés de corrélations sont multiples ,d'où l'importance des concepts de méthodologie. En effet, tel phénomène, résultant d'un ensemble de conditions spécifiques du climat, ne va pas créer les mêmes réactions chez tous les sujets de la même façon, au même moment et à un même degré, d'où la nécessité d'un contrôle statistique. Lorsqu'on essaie d'établir une correspondance entre le climat et un phénomène clinique, on se heurte à une autre difficulté. A quel moment le phénomène météorologique doit-il être mis en corrélation ? Un peu avant qu'il n'apparaisse ? A son acmé ? Quelque temps après ? Inversement, un facteur météorologique isolé n'est pas toujours suffisant pour une confrontation avec la réaction physiopathologique remarquée; il peut représenter un phénomène concomitant, mais non lié au phénomène

biologique étudié. La méthodologie de choix est alors de mettre le sujet dans des conditions artificielles en essayant de reproduire l'environnement que l'on veut étudier, ou plus souvent, certaines de ses qualités. Dans ce but, on utilise des chambres climatiques ou anéchoïdes [290, 237, 60, 141, 200, 29] dans lesquelles la température, l'humidité relative, la dynamique de l'air et l'ionisation sont contrôlées.

A. — *DÉFINITIONS DU « TEMPS » ET DU « CLIMAT »*.

Le « *temps* » désigne l'ensemble des valeurs qui, à un moment donné et en un lieu déterminé, caractérisent l'état atmosphérique. Le temps est donc un état particulier, instantané et propre à un lieu déterminé. Dans la pratique courante, cette notion peut être étendue à des durées définies, par exemple la journée. Le terme « *climat* » représentait jadis toute étendue de la surface terrestre caractérisée par des conditions atmosphériques habituellement comparables. Par rapport à la définition du temps donnée ci-dessus, on peut dire que le *climat* est l'ensemble de tous les temps observés.

Vers le début du XX^{e} siècle, le climatologiste Hann a proposé cette définition qui met l'accent principal sur les conditions atmosphériques : « L'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point quelconque de la terre ». L'expression « état moyen » correspond à une notion assez abstraite par le fait que le climat oscille autour de sa moyenne, plutôt qu'il ne s'y tient; d'autre part ,les oscillations ne se produisent pas d'une manière quelconque, mais présentent un caractère cyclique. D'où la définition proposée par Sorre qui joint l'idée de synthèse à celle de rythme : « le climat est la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle ». Devant la Commission de Climatologie de l'O.M.M. Thornth Waite a défini le climat comme « l'intégration des facteurs météorologiques et climatiques qui concourent à donner à une région son caractère et son individualité ».

D'autres auteurs mettent l'accent sur l'aspect biologique du climat que Koppen définit comme « l'ensemble des conditions atmosphériques qui rendent un lieu de la surface

terrestre plus ou moins habitable pour les hommes ,les animaux et les plantes ». Rubner comprend, sous le nom de climat, « toutes les influences sur la santé, déterminées par l'emplacement du lieu » : cela suppose la connaissance et la mesure de tous les facteurs ou groupes de facteurs météorologiques qui agissent sur la santé. A ces réunions, la proposition de Poncelet pour lequel le climat est «l'ensemble fluctuant habituel d'éléments physiques, chimiques et biologiques caractérisant principalement l'atmosphère d'un lieu et influençant les êtres qui le subissent ». Le climat apparaît ainsi comme une notion synthétique complexe dont on a donné de nombreuses définitions, parfois longues, rarement concises, visant l'ensemble des éléments qui — dans leur succession habituelle, au cours d'une période déterminée — caractérisent l'atmosphère et concourent à donner à chaque point de la Terre son individualité. Il reste toutefois que le climat n'est pas une notion abstraite. Quelle que soit la définition retenue, l'atmosphère terrestre est considérée comme le milieu naturel dans lequel nous devons vivre, et dont les êtres vivants, aussi bien que la matière organisée subissent l'action.

B. — *DISPOSITIFS D'ENREGISTREMENTS.*

Toutes les études de biométéorologie nécessitent un travail d'analyse et de synthèse [135, 148] à partir d'un certain nombre de paramètres recueillis au sol et en altitude.

I. Mesures relatives au vent.

La mesure du vent est celle de la composante horizontale du mouvement de l'air, quantité vectorielle caractérisée par deux nombres représentant la *direction* et la *vitesse*.

a) *Girouettes* : la *direction* du vent, par définition celle d'où souffle le vent, est répérée par rapport à une division angulaire de la circonférence ou rose, dont le zéro est dirigé vers le Nord géographique. La rose de 32, longtemps adoptée, tend à être remplacée par la rose de 36, imposée par l'aviation. En l'absence d'instruments, la détermination à l'estime ne peut guère se faire qu'en rose de 18 dans laquelle l'Ouest est symbolisé par W (pour éviter la confusion EST = OST en langue allemande). Une girouette est très généralement

constituée par un corps de forme dissymétrique par rapport à un axe vertical autour duquel il peut tourner; la partie offrant au vent la plus grande résistance est repousée dans la direction opposée à celle d'où il souffle.

Les girouettes enregistreuses sont utilisées lorsque l'organe est éloigné des locaux d'observation et d'accès parfois difficile.

Dans la girouette à collecteur, la transmission exige l'installation d'un câble téléphonique à nombreux conducteurs. L'enregistreur est composé d'électro-aimants actionnant des plumes. La précision de la girouette est celle d'une rose donnant deux fois plus de repères qu'il n'y a de plots sur le collecteur, l'allumage de deux lampes voisines (ou le double enregistrement analogue) correspondant à une direction intermédiaire du vent.

La girouette à résistance Papillon utilisée en France comporte une palette, solidaire d'un frotteur qui peut venir en contact avec 18 plots, de deux rhéostats et d'un milliampèremètre.

La girouette transyn répète un angle à distance au moyen de répétiteur connu commercialement sous le nom de transyn, selsyn, ou autosyn. Pour transmettre les indications d'une girouette, la queue d'orientation est liée au transyn transmetteur et l'aiguille du cadran de chaque récepteur à un transyn récepteur.

b) *Anémomètres* : la *vitesse moyenne* du vent en surface est définie comme correspondant à une période de 10 mn. Il n'existe pas de règle analogue pour caractériser la direction moyenne du vent. Le degré de *turbulence* du vent est une donnée importante dans l'étude des mécanismes d'échanges entre le sol et l'atmosphère. La vitesse du vent peut être *estimée* d'après les effets qu'elle produit et caractérisée par un nombre, suivant une échelle conventionnelle comme celle de Beaufort, ou mesurée, la vitesse étant donnée en *mètres par seconde* (m/s), nœuds, ou kilomètres par heure (km/h). La hauteur normale des instruments anémométriques utilisés en terrain plat et découvert est de 10 m au-dessus du sol. Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer la

vitesse de rotation des hélices et des moulinets : anénomètres à magnéto, à main, à fréquencemètre, totalisateur, à moulinet bridé; un compte tours ou un aimant solidaire d'un axe produisant un courant induit, permettent une lecture directe sur un galvanomètre gradué en m/s.

Anémomètre Daloz — Utilisé comme anémomètre à main, il comporte une sphère fixée au bout d'un bras, solidaire d'un axe horizontal. Le bras de suspension s'écarte de la verticale d'un angle proportionnel à la vitesse du vent.

Anémomètre à tube de Pitot — Il utilise la différence de pression aérodynamique sur les deux embouchures d'un manomètre disposé différemment dans le vent.

Anémomètre à fil chaud — Il est d'une inertie extrêmement faible, et fort utile pour des études de micrométéorologie. Un fil métallique (platine, tungstène ou nickel) est traversé par un courant électrique qui le porte à une température supérieure à celle de l'air; il adopte finalement une température d'équilibre qui dépend de la vitesse du vent. L'anémomètre à fil chaud est consacré, non à des mesures absolues de la vitesse du vent, mais à des mesures relatives autour d'une valeur moyenne (turbulence).

Anémogirouette statistique. — Elle renseigne sur le régime moyen des vents au sol. La vitesse est indiquée à ± 0,6 m/s près et la direction à 20°C près, tous les quarts d'heure.

II. Mesure de la température (t).

La t. est mesurée par les changements de propriété (dilatation, déformation, variation de résistance, développement d'une force électromotrice) d'un organe sensible ou « capteur » placé dans des conditions telles qu'il soit en équilibre de température avec le milieu ambiant étudié. La t. de l'air est mesurée sous « abri météorologique » construit à 1,50 m du sol en panneaux à claire-voie dont le plus répandu de type anglais, est dû à Stevenson. Les t. minimales sont fournies par un *thermomètre à toluène*, les t. maximales par un *thermomètre à mercure*. L'organe sensible des *thermographes enregistreurs* à plume est représenté par une lame

bimétallique, ou bimétal, (ou *bilame*) choisi dans la gamme abondante des aciers au nickel. Quant aux thermistances elles sont utilisées dans les mesures aérologiques (+ 40°C, — 90°C) et les *couples thermo-électriques* en micro-météorologie. Il existe deux sortes d'instruments destinés à des mesures de différences de t. qui justifient l'emploi de piles thermoélectriques, ce sont les *psychromètres*, à deux capteurs, sec et mouillé, et les *actinomètres*, du type pile de Moll. La t. moyenne : $\frac{t.\ minimum + t.\ maximum}{2}$ n'est calculée, en général, que pour des relevés mensuels.

III. Mesure de la pression atmosphérique.

La pression atmosphérique en un lieu est égale au poids de la colonne d'air qui le surmonte, rapportée à l'unité de surface horizontale. Il s'agit d'une pression hydrostatique, grandeur non directive, caractérisée par la masse spécifique de l'air et sa température au point considéré, et qui se traduit par une force appliquée normalement à toute surface, quelle que soit son orientation. Seule, cette force statique, négligeant les effets dynamiques dus au vent est considérée en météorologie sous un double aspect : la mesure locale de la pression et sa réduction à un niveau standard.

a) *Unités :* l'unité de pression utilisée est le *millibar* (mb) ou millième du bar, unité M.T.S. En tout point du globe, la pression « *au niveau de la mer* » observée au $1/10^e$ de millibar s'écrit ainsi avec quatre chiffres significatifs. Les relations du millibar avec les unités classiques s'écrivent :

1. mb = 100 pascals (M.K.S.) = 1 000 baryes (C.G.S.)

La *pression atmosphérique normale* est définie à l'origine comme celle d'une colonne de mercure normale de 760 mm de hauteur; elle est équivalente à 1 013,25 mb, à 10^{-5} près et normalisée à cette valeur. Elle représente une force de 1,01 kg/cm^2.

b) *Différents types de baromètres : le baromètre à mercure* reste l'instrument de base. Il est utilisé comme baromètre de station, calibré par comparaison à des baromètres-

étalon. Dans tous les appareils d'utilisation courante, on évite d'avoir à effectuer deux mesures, une en haut du tube, l'autre au niveau de la cuvette, à l'aide d'une des deux solutions suivantes :

— avant la mesure, on déplace le niveau de mercure de la cuvette de façon à le ramener à coïncider avec le plan horizontal du zéro de la règle (baromètres type FORTIN) ;

— l'échelle gravée est modifiée de façon à tenir compte automatiquement des déplacements du mercure, dans la cuvette. Ces apareils sont dits à l'échelle compensée ou à « large cuvette » (baromètres type RENOV, KEW, etc.).

Baromètres métalliques ou capsules anéroïdes : la force de la pression exercée sur une membrane métallique est équilibrée par sa force de rappel élastique. L'indication se traduit par le déplacement de l'élément élastique, qui est la membrane elle-même, parfois aidée par un ressort ou un poids, car les forces en jeu sont grandes (19 kg sur une membrane de 5 cm de diamètre). Le principe de cette mesure fait que l'indication dépend de la seule différence entre les pressions qui règnent de chaque côté de la membrane et pour mesurer la pression atmosphérique, la méthode la plus directe consiste à faire le vide d'un côté de la membrane. L'organe sensible le plus simple, est la capsule anéroïde de VIDI, classique ou à variations logarithmiques.

Dans les baromètres différentiels, on utilise des membranes très fines, souples, à profondes cannelures, dont la sensibilité est beaucoup plus grande que celle des anéroïdes, et peut atteindre 0,05 à 0,1 mm/mb pour des membranes de 20 cm^2.

Hypsométrie. — Le point d'ébullition d'un liquide pur ne dépend que de la pression atmosphérique qu'il supporte. Il est atteint lorsque la tension de vapeur saturante du liquide est égale à cette pression extérieure, et la courbe qui indique les points d'ébullition en fonction de la pression est la même que celle qui relie la température et la tension maximale de vapeur. L'hypsométrie utilise cette correspondance pour déduire la valeur de la pression extérieure de la température d'ébullition mesurée d'un liquide. Elle fut d'abord employée pour évaluer l'altitude des stations, d'où son nom; actuellement, elle sert, d'une part, à titre de con-

trôle, d'autre part, en radio-sondage. Dans le premier cas, on utilise *l'hypsomètre à eau pure;* dans le second cas, on emploie des liquides volatils. Ces baromètres sont réglés en fonction de l'altitude de façon à donner la pression ramenée au niveau de la mer. Un simple changement d'étage dans un immeuble fausserait les observations (de 1,25 mb/10 m si l'on est en plaine).

IV. Mesure de l'humidité atmosphérique*.

L'air humide peut être considéré comme un mélange de deux gaz parfaits : air sec et vapeur d'eau. La pression atmosphérique totale p est donc (loi de Dalton) la somme de la pression partielle de l'air sec (pa), et de la pression partielle de vapeur d'eau, habituellement appelée tension de vapeur, (pv) :

$$p = pa + pv.$$

a) *Définitions :* différents paramètres permettent de caractériser l'humidité de l'air. Le mélange air sec-air humide peut être défini par :

— le *titre molaire de la vapeur d'eau* d'un échantillon d'air humide, défini par le rapport (N) du nombre de moles de vapeur d'eau au nombre total de moles dans l'air humide;

— le *rapport de mélange* (r), ou rapport, exprimé en g/kg de la masse d'eau (mv) à la masse d'air sec associé (ma). On peut admettre : $r = 0{,}622\ N$;

— l'*humidité spécifique* (q), rapport exprimé en g/kg de la masse mv de vapeur d'eau à la masse totale (mv + ma) de l'air humide;

— la *concentration de la vapeur d'eau* (ou *humidité absolue*) (A), ou rapport exprimé en g/m^3 de la masse de vapeur mv au volume occupé par le mélange.

(*) Les symboles utilisés ne correspondent pas à ceux récemment proposés in *J. physiol.*, 1969, 27, (3), 439-446 : « Proposed standard system of symboles for the thermal physiology ».

La saturation de l'air humide peut être caractérisée par :

— les *points de rosée et de givre,* définis comme la température à laquelle doit être portée une masse d'air humide, à pression constante, pour qu'elle devienne saturée par rapport à l'eau (point de rosée, Td) ou à la glace (point de givre, Ti). Par définition, Td et Ti ne dépendent que de la tension de vapeur initiale de l'air humide.

— l'*humidité relative* (U), rapport exprimé en pour cent, entre la tension de vapeur existante à celle de la tension saturante, relative à l'eau, à la température T de l'air humide. Le tableau suivant fournit, à partir de la température (t) et de l'humidité relative (U), la teneur en eau réelle de l'air.

HUMIDITÉ ABSOLUE (eau en g/kg air sec) à 760 mm Hg

t \ U	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %
0°C	3,82	3,43	3,05	2,66	2,28	1,90
5	5,40	4,86	4,32	3,77	3,23	2,69
10	7,64	6,86	6,09	5,33	4,56	3,79
15	10,62	9,55	8,47	7,40	6,33	5,27
20	14,61	13,12	11,64	10,16	8,69	7,22
25	19,95	17,90	15,86	13,83	11,82	9,82
30	27,03	24,22	21,44	18,68	15,94	13,23
35	36,37	32,54	28,75	25,02	21,32	16,67

b) *Principes des mesures hygrométriques.*

Il existe une grande variété d'hygromètres. Leurs indications correspondent à l'une quelconque des grandeurs définies ci-dessus, ou, à une fonction de l'une de ces grandeurs et des variables température et pression de l'air.

c) *Le psychromètre* est pour les mesures courantes, l'instrument type. La mesure est basée sur le refroidissement produit par l'évaporation permanente de l'eau qui recouvre un thermomètre mouillé. L'écart de t. entre un thermomètre sec et un thermomètre mouillé est lié à la différence entre les tensions de vapeurs actuelle et saturante

à la t. ambiante. Ces deux températures caractérisent l'air considéré, pourvu que le bulbe humide soit placé dans de l'air animé d'une vitesse suffisante. Les erreurs de lecture sont données par le diagramme de CARRIER et LYNDSAY, en fonction de la vitesse de l'air entourant le bulbe. Un psychromètre placé dans une ambiance sans mouvement d'air à 18°C indiquera 54 % au lieu de 44 % ; dans une ambiance à 18°C, au lieu de 10 % il indiquera 26 % ; dans une ambiance à 5°C et de 26 %, il indiquera 40 %. L'erreur est toujours par excès et substantielle.

On peut classer les psychromètres en quatre catégories :

TYPES D'APPAREILS	INFLUENCÉ PAR LE RAYONNEMENT	INFLUENCÉ PAR LA VITESSE DE L'AIR
Psychromètre à atomisation	non	non
Psychromètre à aspiration	non	non
Psychromètre fronde	oui	non
Psychromètre de tableau Non ventilé	oui	oui

Le psychromètre à atomisation comporte un aspirateur qui fait passer l'air sur un premier thermomètre donnant la température sèche. Cet air est humidifié par un pulvérisateur, adiabatiquement (à chaleur totale constante) donc, à température humide constante. Un deuxième thermomètre mesure la température de cet air. Cet appareil a l'avantage de faire un prélèvement continu dans l'air ambiant.

Dans le psychromètre à aspiration, les deux thermomètres se trouvent dans une gaine en métal poli, à travers laquelle l'air est aspiré à une vistesse constante par un petit ventilateur à moteur mécanique ou électrique, placé à l'aval, pour ne pas modifier les températures mesurées. Le plus classique de ces appareils est le psychromètre d'ASSMANN, qui comporte deux thermomètres à mercure de précision.

Le psychromètre-fronde comprend deux thermomètres placés sur une poignée, ce qui permet de leur donner un mouvement de rotation créant la ventilation nécessaire au thermomètre humide.

Le psychromètre de tableau non ventilé ou semi-psychromètre comporte deux thermomètres dont l'un est muni d'une mèche qui trempe dans un réservoir d'eau et un tableau permettant de convertir les températures sèche et humide en humidité relative.

d) *La mesure du point de rosée ou de givre* peut être considérée comme une mesure absolue, dont *l'hygromètre à point de rosée* est l'instrument de référence. Les réalisations récentes simplifient les manipulations qu'exige l'appareil classique d'Alluard. Le procédé habituel consiste à envoyer sur le miroir refroidi un faisceau lumineux qui, réfléchi, va exciter une cellule photo-électrique. Celle-ci commande un relais qui agit sur le refroidissement du miroir, soit en isolant la source froide, soit en la compensant par une source auxiliaire de chaleur.

e) *Les hygromètres organiques* à dilatation sont très utilisés en raison de leur simplicité et de leur adaptation aisée à un enregistrement; mais leur précision et leur fidélité sont médiocres. Ils sont basés sur l'allongement de corps hygroscopiques, qui, mis sous tension, s'allongent en fonction de l'humidité de l'air ambiant. On mesure cet allongement en l'amplifiant à l'aide d'une aiguille qui se déplace devant un cadran; les corps les plus utilisés sont les mèches de cheveux, le cheveu unique laminé, ou les baudruches (provenant de caecum des bovins) soigneusement dégraissées.

f) *Les hygromètres chimiques ou électrolytiques* supposent la mesure de la résistivité électrique de certains sels électrolysables, disposés de façon à se mettre en équilibre hygroscopique avec l'air ambiant.

Pratiquement, on n'utilise guère que le chlorure de lithium, soit en pellicule (sèche) sur plaquette plastique (en polystyrène dans *l'hygromètre* Dunmore), soit en imprégnation (sèche) de fils de coton (Gregory). La variation de résistance d'un tel conducteur peut être ramenée à celle de la conductivité équivalente du sel hygroscopique utilisé.

g) Deux autres types d'hygromètres font appel aux phénomènes de diffusion de la vapeur d'eau (*hygromètre à diffusion*, type Ruegger à système automatique de lecture

d'humidité relative), ou à son pouvoir absorbant de certains rayonnements (*hygromètre à absorption de rayonnement*).

V. Observations relatives aux nuages et précipitations.

a) *Nuages.* — La nébulosité est définie comme la fraction du ciel qui est couverte par des nuages. Elle conduit à la mesure des étendues de ciel bleu. La mesure est en réalité un rapport d'angles solides. *L'unité* choisie est le huitième d'étendue du ciel ou *octa*. *La mesure de la base des nuages* peut être obtenue :

— en notant le temps au bout duquel un ballon, de vitesse ascensionnelle connue, est occulté par la base des nuages;

— en mesurant l'angle sous lequel on voit la tache formée sur la base du nuage par le faisceau vertical d'un projecteur situé à une distance connue;

— en utilisant un *ceilomètre à faisceau tournant* dans lequel l'œil de l'observateur est remplacé par une cellule photoélectrique sensible uniquement à la lumière modulée fournie par le projecteur de jour et de nuit.

— en utilisant un radar à ondes lumineuses : *le télémètre de nuages.*

L'observation du *mouvement horizontal des nuages* s'apprécie à l'aide de divers *néphoscopes :* à grille, à vision directe de principe analogue à la herse néphoscopique et type à réflecteur gradué tel le modèle à miroir Fineman.

b) *La mesure des précipitations* qui atteignent le sol pendant une période donnée est exprimée par l'épaisseur (en *millimètres*), dont elles couvriraient un sol horizontal sans pertes par écoulement, par évaporation, (et si les précipitations tombées sous forme de neige ou de glace étaient fondues). Une précipitation de 1 mm correspond à la réception sur le sol de 1 l d'eau/m^2.

Les pluviomètres sont des récipients ouverts à leur partie supérieure suivant un cercle horizontal de surface connue, formant la limite d'un entonnoir dont l'ouverture inférieure,

de petite dimension, laisse l'eau s'écouler dans le récipient où elle est conservée jusqu'à la mesure.

Le pluviomètre enregistreur à auget basculeur indique les quantités d'eau tombée en fonction du temps. *Un pluviomètre totalisateur* simple, évitant toute erreur due à l'évaporation, a été réalisé en faisant actionner un compteur à chaque basculement.

Le pluviomètre d'intensité (type JARDI) comprend un récipient percé à sa base d'un orifice étroit. La vitesse avec laquelle s'écoule l'eau dépend de la pression, donc de la hauteur de la colonne d'eau à écouler, hauteur qui est enregistrée. L'intensité de la pluie est exprimée en mm/mn.

L'importance des chutes de neige donnent lieu à deux sortes de mesures : l'observation de l'épaisseur verticale de la neige tombée sur le sol et celle de la quantité de neige recueillie dans un nivomètre (type MOUGIN) à dispositif radiotélémétrique de transmission ne nécessitant aucune visite pendant la durée de l'enneignement.

VI. MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE.

Les échanges d'énergie par émission et absorption de radiations entre le Soleil et la Terre, entre l'atmosphère et le sol, jouent un rôle important en biométéorologie.

a) La mesure de la durée d'insolation, d'heure en heure, est exprimée souvent, aussi, sous forme d'un rapport : fraction d'insolation $I = \frac{h}{H}$ de la durée d'insolation h à la durée du jour théorique H. Les principaux indicateurs de durée d'insolation sont représentés par les héliographes de JORDAN, CAMPBELL-STOKES à transmission électrique, et de MARVIN.

b) L'intensité du rayonnement solaire reçu sur une surface donnée s'exprime en Cal. cm^{-2}. mn^{-1} ou h^{-1} ou $jour^{-1}$.

Elle est mesurée par des *pyrhéliomètres absolus* et des *actinomètres* relatifs.

VII. Mesure du champ électrique terrestre.

Les relations entre le champ électrique terrestre et l'ionisation sont étroites. Le principe général consiste à mesurer la différence de potentiel entre un point d'altitude connu et le sol. En électricité atmosphérique, on considère la terre comme un bon conducteur. Elle porte une charge négative et son potentiel est pris comme potentiel de référence. On considère comme conductrice une couche d'altitude inférieure à l'ionosphère, que l'on appelle électrosphère. Il est possible d'exprimer simplement les phénomènes d'électricité en utilisant le schéma d'un condensateur sphérique dont l'armature interne serait la terre, et l'armature externe l'électrosphère de potentiel positif (Pontikis et coll., 1969). En fonction de l'altitude, il existe un gradient de potentiel. L'air est le diélectrique de ce condensateur. La présence d'ions dans l'air atmosphérique crée une certaine conductibilité et conduit, sous l'influence du champ électrique, à l'apparition d'un certain courant. La somme algébrique des charges des ions (négatifs et positifs) représente la *charge électrique* de l'air ou *charge spatiale*. Si on considère le courant terre-air comme constant avec l'altitude, toute variation de la conductibilité entraîne une accumulation de charges, donc une variation de la charge spatiale. Cela entraîne aussi une variation locale du champ électrique. Ainsi, toutes ces grandeurs sont liées entre elles, d'où l'intérêt d'une station de mesures simultanées.

Les méthodes de mesure de la charge spatiale font appel

— au procédé de la cage, selon lequel l'air chargé passe dans une cage métallique mise à la terre. Le potentiel est mesuré à l'intérieur de la cage. Sa différence par rapport à zéro est liée à la charge spatiale de l'air;

— à la mesure du potentiel à différentes hauteurs, d'où l'on déduit la valeur de la charge spatiale [38].

— à la méthode par filtration, dans laquelle on fait circuler l'air à travers un filtre qui capte les particules en suspension. Le filtre, supporté par un isolant, est relié à la masse par une résistance de forte valeur à travers laquelle les charges électriques captées par le filtre s'écoulent vers la masse.

VIII. Mesure de l'ionisation.

« Mesurer, c'est ici définir », comme le disait Thomson, car le but de la mesure [128-129-155] n'est pas seulement de compter le nombre d'ions/cm^3, mais d'identifier leur charge.

a) *Méthode directe :* les nombres n et n' d'ions (+) et (—) contenus dans un volume d'air sont déterminés par des « compteurs » constitués par un condensateur cylindrique dont l'espace annulaire est parcouru par l'air étudié. Un champ électrique est créé dans cet espace avec une forte différence de potentiel dont les lignes de force du champ sont perpendiculaires à l'axe des cylindres et dont l'armature interne est nettement plus courte que l'armature externe. Si le courant d'air est assez lent, l'armature interne captera les ions du signe opposé au sien et prendra ainsi une certaine charge Q = ne (n = nombre d'ions fixés portant la charge e). La charge est mesurée au moyen d'un électromètre, relié à l'armature interne.

Il est nécessaire que l'air entre les armatures se renouvelle constamment pour que la composition ionique reste constante [134]. Le débit (D) ne doit pas être trop fort, sous peine de voir une partie des ions échapper à la mesure, en particulier les gros ions dont la mobilité est inférieure à celle des petits. La relation liant la capacité du condensateur (C), la mobilité des ions (K) l'intensité du champ (V) et le débit du courant gazeux, doit être vérifiée pour que l'appareil retienne effectivement tous les ions d'un signe donné.

$$D \leqslant 4\pi C.V.K. \qquad (I)$$

Le principe de cette mesure repose sur le phénomène de déperdition électrique : tout corps électrisé mis dans l'air perd sa charge et d'autant plus rapidement que l'air est plus conductible, donc plus ionisé : ce corps quelconque, s'il est électrisé (+) attirera les ions (—) et sa charge sera neutralisée progressivement; s'il est électrisé (—), il attirera les ions (+). Il suffit de mesurer le temps de déperdition pour avoir une idée de l'ionisation. L'électroscope à deux feuilles d'or est le premier appareil construit sur ce principe.

L'appareil de Elster *et* Geitel [107] qui consiste en un électroscope à feuilles d'or, note la chute de potentiel d'un cylindre chargé d'électricité placé dans une atmosphère quelconque. Il est sensible au vent. *L'ionomètre de* Denier *et* Salomon (1936) possède une chambre d'ionisation remplacée par une tige métallique. *L'électromètre bifilaire de* Wulf, dont l'armature est constituée par deux fils de quartz platiné, présente un écartement variable de ses extrémités en fonction du potentiel mesuré; celui-ci est repéré dans un viseur à oculaire micro métrique. Dans *l'appareil d'*Ebert, l'armature externe du condensateur cylindrique est au sol, et l'électrode interne, chargée au début de la mesure, est reliée à un électromètre. Elle se décharge peu à peu sous l'apport des ions de signe contraire. Le courant d'air est produit par une hélice. L'appareil est commode, mais très imparfait en raison du potentiel élevé de l'armature qui ne capte que les gros ions. L'ionomètre de Vles se compose d'un cylindre en bois recouvert de cellophane (30 × 80 cm) supporté par une tige métallique reliée à la terre à travers un isolateur. Dans ce cylindre, un disque (22 cm) est relié à un électroscope placé en dehors, et une armature centrale isolée supportant une feuille d'aluminium. Les déplacements de la feuille d'aluminium sont repérés sur une division circulaire. L'*appareil de* Constantin [64] est un double ionomètre, avec deux électroscopes jumelés, chargés, l'un positivement, l'autre négativement : le temps de décharge de chaque électroscope donne les mesures, le premier, des ions (—), le deuxième, des ions (+). *L'appareil de* Walter a pour base la mesure de la charge électrique, prise par une sphère isolée, primitivement déchargée par mise à la terre et isolée pendant la fraction de s. où elle est soumise aux ions atmosphériques, et déchargée dans un amplificateur. Cet appareil fournit la résultante, à chaque instant, entre les ions (—) et (+). *L'appareil de* Langevin *et* Moulin [193] est une variante très améliorée de l'appareil d'Ebert, avec deux condensateurs différents, l'un pour les petits ions seuls, l'autre pour l'ensemble gros et petits. Le débit et les dimensions sont différents pour chacun des condensateurs. Le premier est établi de manière à vérifier la relation (I) pour $k = 1{,}5$, il captera les petits ions seuls. Le deuxième vérifiant la relation (I) pour $k = 1/3000$, captera les gros ions, et bien entendu les petits. Une simple soustraction entre les

deux mesures donne le nombre des gros ions. Le renversement du sens du champ, procédé classique et inévitable comme pour l'appareil d'Ebert, permet de capter les ions du signe opposé. L'instrument de mesure est un électromètre.

b) *Méthode indirecte.* — On mesure une fraction du nombre total des ions, ce qui permet d'évaluer la conductibilité de l'air aspiré (λ). On emploie là encore un condensateur cylindrique dont l'armature interne, chargée négativement par exemple, recueillera les charges (+). Elle joue le rôle d'un conducteur de déperdition qui se décharge sous l'afflux des ions de signe contraire. On mesurera la vitesse (t) de cette décharge au moyen d'un électroscope relié à l'armature de déperdition. Cette vitesse est proportionnelle à la conductibilité de l'air aspiré, déduite de la formule :

$$C'.\ dv = 4\ CV\ d\ t,$$

C' étant la capacité de l'ensemble.

L'appareil de Gerdien est constitué par un condensateur du type Ebert, dans lequel le débit est assez rapide pour qu'une partie seulement des ions soit captée par l'armature interne, dont la perte de charge ne mesure plus l'ionisation, mais la conductibilité, la mesure devenant ainsi indépendante de la vitesse du courant gazeux, à condition que celle-ci soit supérieure à une limite qui est précisément celle de la formule (I).

L'appareil de Gerdien, complété par Swann, est constitué d'un électromètre de Wulf dont la décharge est accélérée par aspiration de l'air à la vitesse de 4 m/s dans un condensateur cylindrique; l'électrode axiale est chargée (+) ou (—) ; elle attire les ions (—) ou (+). La valeur de la conductibilité est donnée par la formule :

$$\lambda = \frac{1}{4\ \pi}\frac{C'}{C} \cdot \frac{1}{t} \log \frac{Vo}{V}$$

C = capacité totale du système, C' = capacité soumise à la déperdition, t = temps mis pour produire la déperdition, Vo = voltage initial, V = voltage après déperdition.

L'appareil de Fourton [116] mesure simultanément des charges (+) et (—). L'appareil à gros ions aspire, à travers un tampon de « laine d'acier » préalablement déchargé par mise à la terre et isolé électro-statiquement, les gros ions. Son potentiel évolue à partir du potentiel seuil initial, en fonction de la somme algébrique des charges collectées. Toutes les deux minutes, un système de contacts mobiles, mû par un mouvement d'horlogerie et un arbre à came, met le tampon en communication avec la grille de mesure d'un tube électromètre, dont le courant de plaque, après amplification, est envoyé à un milli-Ampèremètre enregistreur.

L'appareil à filtre électrostatique permet de connaître le rapport des charges transportées par gros et petits ions et de posséder une connaissance complète de l'ionisation de l'air considéré. Il comprend deux condensateurs dans lesquels les directions respectives du champ sont opposées : l'un captera les ions (+), et l'autre les ions (—). Les armatures extérieures sont reliées en permanence à la source de haute tension fournie par une tension plaque. Celle-ci délivre 700 volts avec prise médiane.

Le principe du *compteur à double condensateur plan* [75] est le même que celui du condensateur cylindrique, mais ici le condensateur est divisé en 2 canaux symétriques par rapport à une électrode réceptrice médiane. Les deux armatures sont portées à des potentiels inverses et le courant de mesure sera dû à la différence des ions recueillis, donc directement proportionnel à la charge spatiale.

c) *Données pratiques sur quelques ionomètres commercialisés.*

La plupart des ionomètres se ramènent à l'emploi d'un condensateur vibrant appliqué à l'appareil de Gerdien (condensateur cylindrique) et à la plaque isolée pour le courant vertical. Les montages de laboratoire de recherches (montage de Knoll fonctionnant à Munich et à Garmisch dans le laboratoire de Reiter, montage de Fourton fonctionnant à Pau, montage de Ross Gunn, etc., parfois excellents, ne nous intéressent pas ici. Nous désirons, en effet, présenter des appareils commercialisés n'exigeant pas la présence d'un électronicien.

1. *Appareil* Royco.

Adresse : 141, Jefferson Drive, Menlo Park, California, U.S.A.

Principe : un collecteur d'ions, un modulateur, un électromètre, un enregistreur.

Appareil, basé sur le principe du collecteur d'ions d'Ebert, constitué d'un capteur à électrodes planes. On peut mesurer :

— la concentration des ions à grande mobilité (petits ions) ;

— la concentration des ions à faible mobilité (gros ions).

On effectue une sorte de sélection en mettant deux capteurs en série, l'un arrêtant les petits ions, l'autre les gros ions. Il semble que la séparation des ions légers et des lourds soit faite par variation du potentiel appliqué aux électrodes, alors que la vitesse déterminée est constante.

Prix : environ 16 000 F. *Appréciations :* appareils recommandé par Krueger, Beckett, Tromp.

2. *Appareil de* Saxer et Sigrist.

Adresse : Kantonsschule, 5000, Aarau, Suisse.

Principe : un appareil de mesure de conductibilité atmosphérique pour les deux signes; un appareil de mesure de la concentration des petits ions pour les deux signes; un appareil de mesure de la concentration des gros ions pour les deux signes; un enregistreur multivoies.

Le champ électrique dirige les ions d'un signe sur l'électrode intérieure. Le courant résultant produit une tension sur une résistance de haute précision qui est proportionnelle au courant, c'est-à-dire au nombre de décharges élémentaires recueillies par seconde. Un amplificateur avec condensateur à vibrations conduit cette tension vers un

enregistreur. Le flux d'air se fait au travers d'un écran circulaire d'étranglement. Il se produit, à ce niveau, une différence de pression qui permet de mesurer la vitesse du flux.

Prix : environ 60 000 F pour l'ensemble.

Appréciation : appareil de bonne qualité, utilisé dans plusieurs centres d'études européens (Belgique, Suisse, Allemagne).

La gamme de mesure est limitée, ce qui impose une commutation par résistance à l'entrée pour changer d'échelle.

Pour les gros ions, la vitesse d'entraînement (12,59 cm/s.) paraît très faible, en raison des perturbations qu'elle subirait du fait des convections naturelles (cette vitesse a très peu de chance d'être maintenue constante) ; pour les petits ions, la vitesse paraît élevée (4,25 cm/sec.) ; ceci peut provoquer une ionisation par frottement.

— Dans cet appareil, aucune mention n'est faite au sujet des moyens de contrôle de la vitesse, ni à propos des corrections à apporter en fonction de la température de l'air.

— Enfin, dans le cas de mesure de la concentration de gros ions, la tension adoptée — 403 V — paraît très forte et pourrait faire naître des petits ions.

3. *Appareil de* Kunkis.

Adresse : Friedchstrasse, 72/74, 51, Aachen, Allemagne.
Principe :

— appareil mesurant la conductibilité et la charge ionique des deux signes. On passe de l'une à l'autre par un changement de la vitesse de l'air;

— y est couplé, un appareil de mesure de gradient de champ;

— l'ensemble est relié à un enregistreur 6 voies (la température de l'air et la vitesse du vent étant recueillies en même temps).

Prix : Environ 35 000 F.

Appréciations : Appareil de qualité, cependant peu modifié par rapport à l'appareil de Gerdien et surtout adapté à la mesure de la conductibilité de l'air. Il ne semble pas être tenu compte de la vitesse d'entraînement dans le capteur par rapport à la mobilité des charges captées.

4. *Appareil* Kathrein.

Adresse : 82, Rosenheim - Luitpoldstrasse 18 - Allemagne - Post Pach 260.

Prix : environ 4 000 F.

Appréciations : appareil portatif à lecture considéré seulement comme un appareil de contrôle.

5. *Appareil de* Kleinwachter.

Adresse : Entwicklungslabor, 7850 Lörrach, Kreuzstasse 105, Allemagne.

Principe : On crée un flux de saturation témoin égal à 1 000 ions/cm^3 pour v = 10 cm/sec. L'ionisation réelle est mesurée par comparaison.

Prix : 3 400 F. *Appréciations :* Cet appareil est un voltmètre à induction utilisé pour la mesure des gros ions.

IX. — Cartogrammes

Il est possible, sur une carte géographique, de porter les valeurs d'un élément climatologique aux divers points d'observation: si les points sont trop espacés, on se borne à inscrire leurs valeurs numériques ou à les représenter au moyen d'un procédé graphique approprié :
par exemple, pour les précipitations, rectangles de base constante et de hauteur proportionnelle aux quantités d'eau ou cercles dont les rayons sont proportionnels aux racines carrées de celles-ci. Si les points d'observations sont suf-

fisamment rapprochés, c'est-à-dire si leurs distances ne sont pas excessives par rapport au diamètre de l'aire que les observations peuvent valablement représenter (aire qui dépend en premier lieu de l'élément considéré, mais également d'autres facteurs et en particulier de la forme et de la nature du terrain), on peut tracer des lignes qui relient les points où l'élément présente la même valeur; par interpolation entre les lignes ainsi tracées, appelées lignes *isoplètes*, on peut, en principe, déterminer la valeur de l'élément pour tout point de la carte dépourvu d'observation. Les isoplètes portent des noms particuliers correspondants à chacun des éléments qu'elles représentent :

pour la pression atmosphérique	isobares
pour la température	isothermes
pour les précipitations	isohyètes
pour la nébulosité	isonèphes
pour la durée d'insolation	isohèles
pour l'occurence du tonnerre	isobrontes
pour l'occurence des orages	isokérauniques

Les isoplètes sont le plus souvent tracées à partir de valeurs moyennes mensuelles et annuelles. Il est naturellement indispensable de s'assurer que les séries utilisées sont homogènes et qu'elles portent sur la même période. La précision du tracé des lignes est réduite par l'erreur-type qui affecte chacune des valeurs moyennes utilisées, ce qui limite le nombre d'isoplètes qu'il est admissible de tracer. Quant aux interpolations, elles sont faites en supposant que la grandeur de l'élément considéré varie linéairement avec la distance; cette hypothèse n'est pas nécessairement conforme à la réalité, mais est adaptée à cause de sa simplicté et, à défaut de la connaissance des lois réelles de variation; elle suppose toutefois que la région intéressée est climatiquement homogène en ce qui concerne l'élément étudié et qu'en particulier, n'existent pas entre les points d'observation directe utilisés, de microclimats liés à certaines particularités topographiques par exemple. On tient compte habituellement de l'influence de l'altitude pour les éléments au sujet desquels on a adopté des lois de variation; les valeurs de l'élément « réduites » au niveau de la mer (température, pression) deviennent comparables et se prêtent au procédé de l'interpolation. Pour certains éléments — les précipitations en particu-

lier — diverses influences exercent une action aussi importante que celle de l'altitude et se conjuguent avec celle-ci : l'exposition, la forme du relief, la direction dominante des vents, et il n'est plus possible d'opérer des « réductions »au niveau de la mer. De même, les températures minimales ou maximales sont fortement influencées par les conditions locales et le tracé des isothermes correspondantes est plus aléatoire que celui des températures moyennes. Si les cartogrammes sont tracés, non pour l'étude de l'influence de la latitude ou de certaines conditions topographiques, mais en vue d'applications bioclimatiques, seules comptent les valeurs réellement observées.

C. — DÉFINITION DU MICROCLIMAT.

L'étude en laboratoire des effets du vent d'Autan suppose la réalisation d'une enceinte dans laquelle s'effectueront des échanges thermiques avec l'animal, que l'on peut considérer comme un corps chaud et humide.

● *Les échanges thermiques* entre l'organisme et l'enceinte comprennent :

a) la radiation (n) réciproque avec les parois de l'enceinte et les objets qui l'entourent jusqu'à l'établissement de l'équilibre thermique,

b) la conduction entre objets de température différente,

c) la convection (c) liée aux mouvements d'air, dus aux différences de densité jusqu'à l'équilibre thermique,

d) l'évaporation : perspiration insensible et sudation n'élevant pas la température ambiante.

L'organisme animal placé dans une enceinte se met en équilibre thermique, de façon que le bilan thermique (pertes et gains) par radiation, conduction, convection et évaporation, soit nul. La sensation de chaleur ressentie par l'animal est fonction de :

— la température ambiante sèche de l'air (Ts).

— la température radiante moyenne des parois vues du centre du corps (TR).

— la vitesse de l'air (V).

— le degré hygrométrique (HR).

L'ensemble exprime la température résultante (Tr), c'est-à-dire celle donnée par un thermomètre sec dans une enceinte où V est nul, HR égal à 100 lorsque R = Ts.

Deux enceintes équivalentes donnant le même confort thermique, sont affectées de même Tr. Si l'on fait abstraction du degré hygrométrique, la sensation de chaleur ne dépend que de Ts et de Tr, c'est-à-dire de la température sèche résultante Ts (*operative temperature* des Anglo-saxons).

$$Tsr = \frac{Kr \cdot Tr + kc \cdot Ts}{kr + kc} \quad (*)$$

Les diverses modifications physiologiques de l'organisme (fréquence cardiaque, respiratoire, température de la peau, émission de vapeur d'eau et de CO_2 sont identiques pour une même Tr., à laquelle il faut ajouter l'humidité relative de l'air optimale de 40-60 %.

● *L'ambiance* se définira à l'aide :

a) d'un psychomètre ou d'un hygromètre;

b) d'un thermomètre résultant sec, qui se compose d'un thermomètre sec, plongé dans une boule métallique peinte en noir mat, indiquant l'influence du rayonnement;

c) d'un ionomètre.

D. — RÉALISATION D'UNE ENCEINTE EXPÉRIMENTALE.

Pour se mettre à l'abri de l'environnement, une cabine blindée (champ magnétique et électrique) anéchoïde (matériaux absorbants blancs ou noirs) réalise les conditions optimales. Nous avons utilisé, pour le Lapin, une cabine 40 × 40 × 120 cm, d'un volume de 1,934 m^3 dont on assure :

(*) L'air est vicié par CO_2 qui se collecte dans les parties basses et le NH_3 qui s'évacue par les parties hautes. L'odeur de NH_3 est perceptible à 15 p.p.m., irritante à 70 p.p.m.

— La fixité de la température intérieure (18° ± 0,5°C), de l'humidité relative (60 ± 1 %) (appareil Technobel à thermostat et hygrostat, 1 000 fg/h).

— Une intensité d'éclairage invariable (25 W) et une charge d'ions positifs (appareil SAMES AT 30). La mise à la terre du blindage est considérée comme une charge négative.

— La source d'ions est fournie par une électrode à haute tension (30 000 V). La quantité d'ions produite pour les cinq positions de marche de l'appareil et en fonction de la distance figure dans le tableau ci-après :

DISTANCE (m)		0,5	0,75	1	1,5	2
Densité en milliers d'ions/cm³	Pos. 5	1 000	350	200	75	25
	Pos. 5	850	300	150	50	20
	Pos. 3	700	200	100	40	15
	Pos. 2	350	100	75	25	14
	Pos. 1	300	25	20	15	12

Le dispositif de régulation de température intervient pratiquement chaque fois que la t. du local dans lequel se trouve la cabine est supérieure à 14°C. En effet, l'isolement des parois épaisses de 7 cm correspond à une surface de 0,48 $m^2 \times 3 = 1,44$ m^2 pour 3 parois latérales, $0,16 \times 2 = 0,32$ m^2 pour plafond et plancher, 0,24 m^2 pour la porte, 2 m^2 en isolant, (0,24 m^2 en double paroi de verre épais de 4 mm dont l'intervalle est inférieur à 1 cm). Le coefficient de conductivité (λ) de l'isolant a une valeur de 0,05. Le coefficient de transmission thermique des parois K, pour 1°C de différence, exprimé en Kcal/h/m^2, dépend de l'épaisseur de la paroi (e) en mètres et de la conductivité

$K = \frac{\lambda}{e}$, soit $\frac{0,005}{0,07} = 0,7$ Kcal/m^2/h/°C. La résistance thermique de la paroi $R = \frac{1}{K} = 1,42$, à laquelle

s'ajoute celle due aux lames d'air (0,40 en France) correspond à 1,82, soit 0,52 Kcal/m²/h/°C, soit 1,04 pour l'ensemble. Le coefficient de conduction du verre rejoint une valeur de 1 ; la résistance thermique totale R est égale à celle du verre 0,008, plus celle de l'air emprisonné 0,04, plus celle due aux lames, soit 0,448. Le coefficient K global = $\frac{1}{0,448}$, soit 2 Kcal/m²/h/°C, soit 0,5 Kcal pour les 2 parois. La perte quotidienne par les parois par °C atteint 1,92 × 24 soit environ 46 Kcal. Comme la production de chaleur d'un lapin est voisine de 180 Kcal/j et que la t. d'ambiance a été fixée à 18°C, la déperdition ne peut compenser l'écart au-dessus de 14°C de t. extérieure,

CHAPITRE II

EXPLORATIONS FONCTIONNELLES RÉALISÉES

A. — ACTIVITÉ GÉNÉRALE.

On peut définir l'actographie comme l'ensemble des procédés qui permettent l'appréciation objective ou la mesure d'une manifestation de l'activité de l'animal (Dumortier, 1968). L'animal le signale par sa présence et par son activité, et c'est dans tous les cas une conséquence énergétique qui est détectée. Il est possible de schématiser le principe général de toutes les méthodes actographiques de la façon suivante :

Animal ● présence
● activité
↓
conséquence énergétique → détection
↓
(amplification) ● traduction graphique
● quantification

1. *Dispositifs actographiques.*

Les principales méthodes mécaniques d'enregistrement de l'activité locomotrice [10, 61, 62, 111, 240] au cours du temps utilisent les deux techniques que sont la roue d'écureuil et les cages oscillantes ou tremblantes, auxquelles s'ajoutent des actographes spéciaux destinés à n'étudier qu'un point particulier du comportement.

a) Roue d'écureuil.

Stewart (1898) fut le premier à proposer cette technique, l'animal pouvant vivre à l'intérieur ou à l'extérieur de la roue [69, 70]. Elle permet la mesure de l'activité mécanique de l'animal chiffrée par le nombre de tours dans les deux sens, relevé sur un compteur, ou par la distance parcourue. Cette technique est adéquate pour des mesures portant sur de longues périodes. La méthode du *cylindre tournant* donne des résultats sûrs, lorsque les caractéristiques physiques de chaque cage sont bien définies. De nombreux animaux peuvent être testés et la notation des résultats est simple et sans équivoque. Ce système a le principal inconvénient de s'auto-entretenir et l'animal a aussi la possibilité, en courant, de sauter de la roue dans sa cage : la roue tourne encore quelques instants, compliquant la lecture des tracés. Skinner (1933) évite ce dernier inconvénient en posant un frein. Il propose de comparer, non pas le nombre de tours ou la distance parcourue, mais le temps d'activité lors des nycthémères suçcessifs, ou lors de brèves périodes [264, 138, 111] après avoir calibré et éliminé les différences de sensibilité entre les roues [191].

b) Cages oscillantes.

Le principe proposé par Szymanski (1914) relève de la balance et du peson : les animaux transmettent leurs déplacements à la cage et ce sont les mouvements de celle-ci qui sont enregistrés. Son appareil se compose d'une tige horizontale, oscillant sur un support. A l'une des extrémités se trouve une cage et un petit contrepoids. L'autre bras porte un contrepoids plus volumineux et un style pouvant frotter sur un papier au noir de fumée d'un cylindre enregistreur.

Richter (1927) invente la technique de la *cage triangulaire* montée sur 3 tambours de Marey dont les mouvements sont transmis sur un graphique. Cet actographe permet d'obtenir une mesure continue de l'activité totale. Elle est utilisée moins souvent que la cage tournante à cause des difficultés mécaniques plus grandes et parce qu'un enregistrement graphique donne des résultats moins quantitatifs que ceux obtenus par un cyclomètre. Cependant, il permet la mesure de la direction aussi bien que la seule quantité de l'activité [8]. Park et Woods (1940) modifient l'actographe de Hemmington-Krarup [138], association des deux principales techniques mécaniques : le cylindre tournant et la cage tremblante. Il se compose en effet d'une roue d'écureuil flanquée d'une cage d'habitation attenante, toutes deux en communication. Celle-ci est suspendue à un ressort et ce système permet donc d'étudier à la fois l'activité dans la roue par un cyclomètre et les mouvements dans la cage d'habitation dérivés sur un cylindre enregistreur.

Les *cages actographiques suspendues* par un ressort ont été décrites par Wilburg (1936), modifiées par Hunt et Schosberg [142] en 1939, Smith [267] en 1940 et Waterman [315] en 1947. Elles permettent une étude à court terme et apparaissent selon deux variétés selon qu'elles font appel ou non à un transducteur. Dans ce dernier cas, le point de fixation cage-ressort est solidarisé au levier d'un tambour manipulateur de Marey, lui-même conjugué à une capsule. Le comptage des passages par cellule photoélectrique (Dews, 1953) et l'intégration des mouvements d'une cage placée sur un transducteur électromécanique [1, 33] (Ratner et Ringer, 1959; Raynaud et coll., 1968) permettent des mesures plus fines.

c) Actographes spéciaux.

L'*actographe différentiel* de Pelosse (1966), pour l'étude de la motilité spontanée chez l'homme [52] a été utilisé pour les études de sommeil en milieu naturel, c'est-à-dire en dehors des conditions de laboratoire. L'appareil comporte un ressort spiralé vertical sur lequel est appuyé l'un des pieds du siège ou du lit, sur lequel se trouve le sujet. L'extrémité libre du ressort est solidaire d'un piston A, de

gros diamètre, qui coulisse verticalement dans un cylindre s'ouvrant à son extrémité inférieure dans une chambre remplie d'huile. Cette chambre communique par ailleurs avec un réservoir de compensation par un orifice de fuite réglable, et avec un cylindre vertical de petit diamètre dans lequel coulisse un piston B. Ce dernier actionne un bras incripteur à encre qui se déplace dans un plan vertical devant un cylindre enregistreur, mû par un moteur mécanique dont la vitesse est choisie en fonction de l'étude entreprise. Lorsqu'une force s'exerce sur le ressort, le piston A s'abaisse et déplace vers le haut le piston B et le levier inscripteur; ces derniers retrouvent leur position d'équilibre initiale grâce à l'orifice de fuite permettant le passage de l'huile de la chambre vers le réservoir. Le ressort étant partiellement comprimé, une diminution du poids apparent se traduira par un déplacement du levier inscripteur vers le bas [226]. Les avantages du dispositif sont les suivants :

— La position d'équilibre de la plume pour une force constante ne dépend pas du poids de l'ensemble lit-sujet; les variations s'inscrivent donc toujours autour de la même ligne de base;

— La sensibilité de l'appareil déterminée par le rapport des diamètres des pistons peut être modifiée par le réglage de l'orifice de fuite.

Le *champ électromagnétique* a été utilisé en actographie selon deux modalités, suivant que la source d'énergie était portée ou non par l'animal.

Dans le premier système fonctionnant à distance [49, 110, 114, 208, 245, 250, 263, 281], le phénomène est transmis par voie hertzienne et la détection fait appel à un récepteur radio, définissant l'*actographie télémétrique*.

Dans le second, Chambers et Salmons (1966) utilisent un oscillateur propageant le champ électromagnétique. Le plancher et le plafond de la cage qui renferme l'animal sont des grilles métalliques réunies toutes deux à un oscillateur (fréq. 80 kHz); deux antennes accordées sont disposées à l'extérieur de la cage sur deux côtés se faisant face, chacune reliée à un ensemble récepteur-amplificateur-détecteur.

Le principe de fonctionnement est la réception en opposition de phase de l'onde sinusoïdale électrique. La présence de l'animal perturbe la réception par l'une des antennes rompant ainsi l'équilibre du système (= signal).

L'interception par le passage d'un animal d'un faisceau lumineux parallèle dirigé vers une *cellule photo-électrique* est un principe de détection auquel on a souvent eu recours. Si l'animal a la possibilité de se déplacer dans un plan, il convient de multiplier le nombre des sources lumineuses et des cellules de façon à « couvrir » l'ensemble de la surface utilisable [34, 42, 198, 228, 54, 269]. L'actographe de Shipton et coll. (1959) traduit les résultats sous deux formes : une courbe de l'activité globale durant 24 heures et une autre détaillant celle-ci toutes les 30 minutes. Selon Charpentier (1965), le nombre des interruptions de faisceaux lumineux donne une bonne approximation du déplacement de l'animal : approximation seulement, car l'animal a assez souvent un trajet oblique dont la correction est possible. Il existe en outre une autre cause d'erreur non négligeable : lorsque l'animal ne se déplace que de façon modérée, mais autour d'un faisceau lumineux, par exemple, dans un état de rage, il peut provoquer plusieurs signaux pour un faible déplacement. Il prévient ce défaut en enregistrant séparément les déplacements dans chacun des deux sens, perpendiculaires l'un à l'autre sur un électro-encéphalographe.

Sauf cas particulier, la *photographie* permet plutôt de procéder à un échantillonnage qu'à l'appréciation continue de l'activité. Son emploi est donc beaucoup moins large que celui des méthodes précédentes. On utilise trois techniques, principalement :

— la prise de vues instantanées au flash à une cadence régulière, sur lesquelles on peut repérer les positions successives occupées par l'animal [215, 318, 241, 5] ;

— la prise de vue en illumination continue avec un temps de pose assez long, donnant un flou qui indique la direction du déplacement [103, 92] ;

— et enfin, la prise de vue répétée au flash (obturateur ouvert) sur une même pellicule qui permet d'avoir le

tracé exact du déplacement d'un animal pendant une durée assez longue [21, 124].

L'animal qui se déplace à la surface d'un substrat ou dans sa masse [20, 35, 41, 47] (cas des espèces forant des galeries) est la source de vibrations [97] qui se propagent dans le milieu solide et peuvent y être détectées au moyen de transducteurs appelés « *capteurs de vibrations* ». Ces capteurs sont de type électromagnétique ou piézo-électrique; les *jauges de contrainte,* peu employées jusqu'à présent (Pasquinelli, 1954), peuvent aussi servir de détecteurs de vibrations. C'est avec un détecteur de ce type que Couturier et al. (1961) ont étudié le déterminisme de l'envol chez le hanneton. Salter (1966) a précisé les périodes d'activité du jeune poussin de caille avant l'éclosion en déposant l'œuf sur un plateau solidaire d'un capteur de ce type.

Le déplacement de l'animal sur le substrat s'accompagne aussi de *vibrations acoustiques* transmises par l'air (bruits). Il est donc théoriquement possible de capter ces bruits à l'aide d'un microphone et d'avoir de la sorte un reflet de l'activité. Une telle méthode [3, 44, 45, 46, 219], utilisée pour l'actographie d'insectes divers, se révèle peu pratique, du fait de l'isolement phonique très poussé qui doit être réalisé pour se garantir des bruits parasites extérieurs (nécessité d'enfermer les animaux dans des enceintes insonorisées). Par contre, cette même méthode peut être à juste titre appliquée lorsque l'activité considérée est une émission sonore [54, 99]. Les ondes acoustiques ultra-sonores possèdent la propriété (qui s'accentue à mesure qu'augmente la fréquence) de pouvoir être émises en faisceaux directifs capables de se réfléchir sur des parois non absorbantes. Peacock (1962-1966) a ainsi employé une émission ultra-sonore de 41 kHz pour créer, à l'intérieur d'une enceinte, un système d'ondes stationnaires stables, que perturbe le mouvement d'un animal (Rat) : le phénomène est capté par un microphone à quartz ou à condensateur.

2. *Traduction numérique.*

Le dispositif qui permet une traduction objective de l'activité constitue l'élément terminal d'une chaîne actographique. De la finesse et de la précision des informations qu'il

fournira, dépendront finalement les possibilités d'exploitation des résultats. De même, que l'on choisira le type de détection le plus approprié au phénomène étudié, on devra choisir le système de mesure en fonction de la qualité de l'information que l'on désire obtenir. Ces dispositifs sont schématiquement de deux types :

— ceux qui traduisent le phénomène dans un système de coordonnées rectangulaires (traduction graphique) ;

— ceux qui permettent une quantification et expriment les variations du phénomène en valeurs numériques (traduction numérique).

La traduction graphique est la méthode la plus anciennement utilisée (ex. : stylet se déplaçant sur un cylindre enduit de noir de fumée) ; c'est aussi la plus simple à réaliser, et par conséquent, la moins coûteuse. Elle offre deux variantes :

— l'amplitude de tracé est proportionnelle à l'intensité de l'activité,

— l'amplitude est constante et le système fonctionne par tout ou rien.

— Les dispositifs à galvanomètre inscripteur permettent un tracé d'amplitude variable puisque la tension appliquée est celle recueillie par le détecteur. Ce dernier ne traduit pas forcément la grandeur de l'activité de l'animal : en effet, selon la position ou la distance de l'animal par rapport au détecteur, celui-ci appréciera différemment une même activité (cas des capteurs de vibration et les systèmes capacitifs). Dans la pratique, l'appareil est formé d'un galvanomètre dont le cadre mobile est équipé d'un style ou d'une plume permettant une inscription sur une bande de papier se déroulant à vitesse constante. Différents principes d'inscription ont été mis au point : à encre, à étincelage (sur papier métallisé), à enlèvement d'une couche déposée à la surface du papier : paraffine, matière plastique (avec plume chauffante), etc.

— Dans les systèmes à tout ou rien, la tension commande un relais qui ferme le circuit d'alimentation d'un électro-aimant porteur de la plume d'inscription.

Quel que soit leur type, les appareils donnant une traduction graphique du phénomène ne permettent guère qu'une appréciation globale et assez subjective. En effet, la

durée d'une période d'activité ne peut être appréciée que dans le cas où un défilement assez rapide du papier permet un comptage des déflections de la plume.

La traduction numérique est la seule méthode d'appréciation objective; elle seule permet, d'une part, la connaissance de la variation en intensité de l'activité, d'autre part, la comparaison des résultats entre eux. Le principe général est de ne retenir des signaux transmis par le détecteur que ceux qui atteignent un certain seuil; ces « crêtes » sont transformées en impulsion calibrée qui commandent le fonctionnement d'un compteur électromécanique ou électronique sur lequel viennent se totaliser et s'afficher les « unités » d'activité [206, 201, 202, 281]. Les résultats chiffrés peuvent alors être photographiés ou imprimés sur papier [99, 98, 9].

L'*activité générale* des animaux au cours des périodes de vent d'Autan a été mesurée chez le lapin mâle, en semi-liberté (aire de déplacement limitée) relative. Un fil métallique fixé à un harnais rétroscapulaire rend solidaire des déplacements de l'animal une capsule de Marey dont les variations de pression sont transmises et inscrites sur un cylindre enregistreur tournant à faible vitesse (2 m par 24 h). On évalue la durée moyenne par nycthémère des périodes de repos égales ou supérieures à 10 mn. Celle-ci est comparée à la valeur moyenne de 180 nycthémères successifs encadrant 8 périodes de vent d'Autan. Chez la souris, la roue d'écureuil avec traduction mécanique a été utilisée à titre d'essai.

B. *LES ÉTATS DE VIGILANCE.*

1. *Electroencéphalographie.*

Les *états de sommeil* ont été appréciés chez le cheval muni d'électrodes corticales placées à demeure. Un mois avant les enregistrements, sous anesthésie générale, la paroi crânienne, en zone frontale et pariétale, de part et d'autre de la crête de la ligne temporale, est traversée à la fraise après incision et décollement de l'insertion du muscle temporal. Deux rangées de 3 électrodes corticales (vis d'argent),

munies de fils de connexion, sont placées aseptiquement au contact de la dure-mère. Les vis sont isolées à l'aide d'une résine auto-polymérisable (FORTACRYL N.D.).

2. *Electropolygraphie.*

Des fils d'acier émaillé (Ni-Cr 21 %) de 120 μ de diamètre sont insérés au niveau du muscle releveur naso-labial. Les fils de connexion sont ramenés en arrière de la nuque, au niveau de la crinière par tunnellisation sous-cutanée. Les fils souples des électrodes sont connectés à un panneau d'entrée maintenu au niveau du garrot par un harnais relié par un câble souple à l'électro-encéphalographe à 8 pistes (REEGA VIII - ALVAR) et permet toute liberté de mouvement à l'animal. Les précautions exigées pour une correcte appréciation des états de sommeil sont représentées par une habituation de plusieurs mois à l'environnement (écurie constamment éclairée et maintenue à 18°C ± 1°C), aux observateurs, à la caméra et au port du panneau d'entrée. Le sujet reçoit avoine et foin de graminées *ad libitum* et est soumis à 2 h d'exercice par jour. Les enregistrements sont effectués par séries de 3 phases nocturnes consécutives de 20 h à 8 h avec un déroulement continu du papier, à la vitesse de 15 mm/sec. effectué régulièrement. L'E Co G est obtenu en dérivation bipolaire transverse frontal ou pariétal ou longitudinal (fronto-pariétal et pariéto-temporal droit ou gauche). L'étalonnage de l'appareil est réglé de manière à obtenir la déviation de 5 mm pour 50 microvolts. Les constantes utilisées sont de 0,3 s pour l'E Co G et 0,01 pour l'E M G. Une électrode sous-cutanée fixée en région xyphoïdienne permet un enregistrement électrocardiographique satisfaisant en prenant comme électrode de référence une vis corticale. La respiration est enregistrée à l'aide d'un caoutchouc, dont la déformation, à chaque variation de volume de la cage thoracique, déséquilibre un pont de WHEASTONE. Aucun plan expérimental spécial n'a été envisagé pour cette étude, visant par ailleurs l'examen des concomitants somato-végétatifs du sommeil chez les Equidés [243].

L'examen des données météorologiques effectués *a posteriori* a permis de retenir, parmi une trentaine d'enregistrement nocturnes de 12 h, trois d'entre eux comme directement associés à l'apparition du vent d'Autan.

« L'autan, ce vent chaud et énervant qui brûle les récoltes, tarit les sources et met de travers la cervelle des hommes ».

G. Gaulène

(Le Vent d'Autan, 1961).

DEUXIÈME PARTIE

DONNÉES BIOMÉTÉOROLOGIQUES

Structure météorologique

Retentissement biologique chez l'homme

INTRODUCTION

La *biométéorologie* [66, 205, 135, 199, 296, 4, 294, 299, 300, 292, 63, 301] est l'étude des relations entre la vie et l'environnement visant l'identification des propriétés physico-chimiques biologiquement actives de l'atmosphère et l'analyse des mécanismes responsables des ajustements de l'organisme aux conditions du milieu physique [246, 105, 113] et réciproquement [76].

La *bioclimatologie* [96, 192, 205, 27] étudie les effets du climat sur la vie en général; comme la première, elle n'aborde que les incidences physiologiques : [32, 114, 108, 207, 314], aussi, leur différenciation est subtile. La *météoropathologie,* par contre, traite des troubles dus aux accidents météorologiques isolés [80, 130, 197].

Les données actuelles en médecine vétérinaire sont réduites à des études anatomocliniques [105, 113] centrées sur la recherche de corrélations entre les paramètres du climat, les météores, et le déclenchement ou la répartition de nombreuses affections (Bedoiseau, 1935; Bonneton, 1948; Risse, 1969). Les données météoropathologiques [7, 50, 51, 91] laissent dans l'imprécision la nature et le mécanisme possible des effets du vent régional qu'est l'Autan.

CHAPITRE PREMIER

STRUCTURE MÉTÉOROLOGIQUE DU VENT D'AUTAN

Le mot « Autan », du latin « *altanus* », vent de la haute mer, dénote l'*origine* marine de ce vent. Il est proche du courant méditerranéen qui, remontant la vallée du Rhône, donne à Lyon le « vent du Midi » [55]. L'analogie avec le Foehn alpestre, [30, 151, 231, 238, 239, 249, 251 à 253, 273 à 278, 291], vent sec et chaud, qui souffle sur les vallées autrichiennes et suisses après avoir traversé l'Italie et les Alpes, ets fréquente : ils sont parfois simultanés [307]. En fait, le mot foehn désigne tout vent subissant, au passage d'un relief, les deux influences suivantes : ascendance avec détente et subsidence avec compression. Quand le phénomène est rapide, la détente entraîne une baisse de température sans échange thermique avec le substratum ou l'air environnant. Cette modification thermique sans échange avec l'environnement est dite adiabatique*.

(*) Le gradient adiabatique de l'air sec correspond à un refroidissement d'environ 1°C pour une ascendance de 100 m. Quand l'air est humide, le refroidissement par ascendance augmente l'humidité relative et la condensation de la vapeur d'eau en excès engendre nuages et précipitations. En raison de la chaleur de condensation, le gradient adiabatique de l'air saturé n'est que de 0,5°C.

Une seconde approximation conduit à rapprocher aussi les effets du *vent d'Autan* de ceux du Chergui au Maroc [125], du Chamsin en Israël [235, 236], du Chinook du Middle-West américain, du Zonda argentin, du Santa Ana du Sud de la Californie [297].

I. Origine et modalités.

Le vent d'Autan apparaît selon deux modalités : l'Autan noir, précurseur de pluie, et l'Autan blanc, sans pluviosité.

— L'Autan noir souffle en régime cyclonique sur le front d'une dépression mobile centrée au sol sur le Golfe de Gascogne. La période de vent se poursuit pendant plusieurs jours, avec accalmies et reprises. Elle se termine brusquement par un renversement du vent. L'air atlantique reprend alors l'avantage et recouvre entièrement son territoire aquitain en apportant la pluie. Ceci explique qu'un vent méditerranéen s'est acquis, paradoxalement, la réputation « d'appeler la pluie ».

— L'Autan blanc, circulant sur la marge Sud d'un anticyclone continental dont les hautes pressions s'étendent sur l'Europe méridionale, correspond à une période de beau temps.

Figure 1

En fait, la différenciation entre les deux espèces de vent d'Autan est très subtile à établir, surtout en ce qui concerne les vents violents. Quelle que soit *in fine* sa modalité, l'origine est toujours : l'association d'un anticyclone continental dont les hautes pressions s'étendent sur l'Europe méridionale et la dépression centrée sur le Golfe de Gascogne. Il résulte de cette configuration un courant de secteur Sud (S.W. à S.S.E.) principalement sur la partie occidentale des Pyrénées. La masse d'air franchit la chaîne. Le refroidissement par ascendance engendre nuages et précipitations au vent de la montagne. Sur le versant opposé, l'air débarrassé d'une grande partie de sa vapeur d'eau se réchauffe au taux adiabatique. Il gagne ainsi plus de chaleur qu'il n'en a perdu (le gain est d'environ + 10°C). Ce vent du Sud descendant des Pyrénées, devenu sec et chaud par un effet de foehn, induit une dépression dynamique locale. Elle

dévie le courant d'origine qui adopte une direction de Sud-Est. En s'engouffrant dans la plaine garonnaise, il présente les particularités du vent d'Autan.

Figure 2

Irrégulier, turbulent, violent, variable, chaud et sec, le vent d'Autan souffle dans la partie orientale du Bassin Aquitain par périodes de 2 à 3 jours en alternance avec le vent de Nord-Ouest. Mais les Toulousains seraient surpris d'apprendre que l'influence atlantique prédomine, et que le vent d'Ouest souffle en moyenne deux fois plus souvent que le vent d'Est. La figure 3 montre que la fréquence des vents à Toulouse (1967-1968) de tendance Sud-Est est de 28,6 % contre 44,9 % de tendance Ouest.

Figure 3

II. Direction dominante.

Le vent d'Autan a une direction dominante oscillant d'E-S-E à S-E; il est fortement influencé par le relief : à basse altitude, il adopte souvent l'orientation approximative des couloirs naturels et des principales vallées. A Toulouse, l'Autan, franchissant le seuil de Naurouze et la vallée de l'Hers, arrive généralement par le S-E; dans la région d'Albi sa direction tend à se rapprocher de celle de la vallée du Tarn : il arrive souvent, de ce fait, par l'Est.

III. Domaine d'extension et limites.

A l'Est, la ligne de partage des eaux entre la Méditerranée et l'Atlantique détermine avec une approximation suffisante, la limite entre l'Autan et le Marin. En fait, la frontière de l'Autan n'est pas fixe vers l'Est; l'été, il laisse son empreinte dès Carcassonne; par contre, son domaine est plus restreint l'hiver. Au Nord, son action se fait sentir jusqu'à Moissac, Montauban, Gaillac et Albi. Le vent d'Autan souffle aussi sur les plateaux du Rouergue, les monts de Levezou et les montagnes d'Aubrac. A l'Ouest, il dépasse Agen et intéresse la région de Villeneuve-sur-Lot et de Tonneins. Enfin, vers le Sud--Ouest, et le Sud, il s'infléchit suivant une ligne moyenne Auch-Lombez qui passe au Sud de Pamiers et de Limoux.

Figure 4

IV. Périodicité, force.

Le vent d'Autan présente une ébauche de périodicité saisonnière au printemps et en automne. Sa vitesse moyenne (sur 10 ans) est de 29 km/h au sol, de 50 km/h à 500 m. Cette valeur, proche de celle du vent d'Ouest, n'exclut pas une réelle violence du vent d'Autan. Celle-ci est liée aux rafales, aux tourbillons et remous. En effet, l'Autan souffle du Sud-Est en glissant sous la masse d'air atlantique qui progresse en sens inverse. Il subit de ce fait l'influence des reliefs de plus de 1 000 mètres qui prolongent vers le Sud le Massif Central (monts de Lacaune et de l'Espinousse) et vers le Nord, les Pyrénées. La canalisation vers le seuil de Naurouze (190 m) bordé par les contreforts de la Montagne Noire et le massif des Corbières (500 m), disloque le cours du vent d'Autan. Les voies secondaires empruntées impriment, par un effet de tuyère, une accélération globale responsable de l'existence de rafales. Enfin, la divergence des vents au sol engendre une subsidence dynamique avec sécheresse et hausse de température.

Figures 5 et 6

V. Effets météorologiques.

a) *Hygrométrique.*

En l'absence de vent d'Autan, le niveau d'hygrométrie est lié aux variations de température : ainsi, par exemple, à teneur d'humidité constante, on peut observer une humidité relative diurne de 50 % et nocturne de 90 %. L'hygrométrie relative évolue ainsi selon une série de clochers nocturnes qui, en période de vent d'Autan, seront décapités en raison de la sècheresse relative nocturne. Celle-ci peut être telle que le niveau de 60 % n'est pas atteint.

b) *Thermique.*

Parallèlement, on constate une hausse de température associée à un relèvement des minima. Cette élévation thermique a une double origine méditerranéenne, d'une part, puisque la surface de la mer préalablement balayée (Golfe du Lion) bénéficie d'une température élevée, pyrénéenne, d'autre part, puisqu'un gain de température de 10°C est acquis par un effet de foehn lors de la traversée de la chaîne des Pyrénées.

c) *Barométrique.*

Enfin, au début d'une période d'Autan blanc, la pression atmosphérique s'élève et demeure stationnaire tant que le vent souffle. A l'opposé, on observe une dépression barométrique légère, lente et progressive, lorsque souffle l'Autan noir. Cette baisse de la pression cesse dès l'arrivée de la pluie.

En bref, un vent chaud et sec soufflant par rafales du S-E, durant 2 à 3 jours — tels sont les traits essentiels de l'Autan. Le tableau I ci-contre en résume les principales caractéristiques avec la distinction d'un vent hybride vis-à-vis duquel l'unanimité n'est pas faite.

Tableau I

	VENT D'AUTAN BLANC	VENT D'AUTAN HYBRIDE	VENT D'AUTAN NOIR
Direction	Entre S.-E et E.-S.-E.	S.-S.-E.	S.-E.
Fréquence saisonnière	Automne-Hiver	Eté, parfois automne	Automne-Printemps
Force	8 à 10 m/s. Succession rapide de calmes et rafales	5 à 10 m/s. Faiblesse nocturne	12 à 14 m/s. Turbulence accusée, sans faiblesse nocturne
Effets thermiques	Chaud et sec Relèvement des minima Oscillation diurne faible	Très chaud Oscillation diurne très marquée	Relèvement des minima Insolation plus longue
Effets hygrométriques	Humidité relative anormalement basse la nuit (35 à 40 % en hiver)	Très sec - Humidité relative fortement relevée	Humidité relative modérée au début puis élevée de jour et de nuit
Nébulosité	Nulle, puis nuages élevés émissaires des perturbations atlantiques	Faible l'hiver, suit en été les fluctuations orageuses	Augmentation progressive; le vent d'Autan tombe avec l'arrivée de la pluie
Pression barométrique	Elevée, puis stationnaire	Baisse très lente Pression variable	Baisse lente, puis accusée
Pluviosité (*)	Carence totale de pluie	Fonction des fluctuations orageuses	Les précipitations apparaissent dès la fin de l'Autan

(*) La pluie par vent d'Autan est un phénomène *très rare*.

d) Electrique.

La définition qui précède est incomplète en ce sens qu'un vent de même turbulence que l'Autan, mais d'origine différente, est bien toléré. De même, les sujets anémo-sensibles échappent aux effets du vent sous abri, alors qu'il n'en est rien au cours des périodes d'Autan. L'existence de perturbations électriques concomitantes de l'atmosphère explique ces phénomènes. La période de vent d'Autan s'annonce et s'accompagne de variations de la déclinaison* (7 à 15 mn d'arc) ; simultanément, le champ électrique terrestre est modifié par un afflux d'*ions positifs* qui forment, par agitation moléculaire et attraction électrostatique, des agrégats : les *aéro-ions,* puis, par fixation sur des particules liquides ou solides, des *ions lourds* (ions LANGEVIN) [196].

Figure 7

La charge électrique de l'air, ou charge spatiale, correspond à la somme algébrique des ions négatifs (n−) et positifs (n+) [235]. L'exposition d'un homme sain à une densité d'ions voisine de celle qui est effectivement enregistrée au cours de ce vent provoque des sensations d'inconfort, des céphalées sourdes et tenaces, ainsi que des troubles du sommeil, phénomènes analogues à ceux décrits dans le « syndrome vent d'Autan ».

Telles sont, en première approximation, les structures météorologiques originales du vent d'Autan qui le distinguent à bien des égards du vent d'Ouest et qui sont susceptibles de nous guider dans l'interprétation de son influence sur les êtres vivants.

(*) On appelle déclinaison l'angle que fait le méridien magnétique avec le méridien géographique.

CHAPITRE II

RETENTISSEMENT BIOLOGIQUE

Dans leur essai d'analyse météoropathologique du syndrome vent d'Autan, Denard et Voisin (1960) considèrent ce phénomène comme proche du syndrome du temps orageux [88] :

● Parmi les 37 % de *personnes* interrogées qui se déclarent sensibles au vent d'Autan, dans la région toulousaine, il n'a pas été observé de tendance particulière à la vagotonie ou à l'insuffisance hépatique. Il existe différents degrés de sensibilité avec phénomènes de précession. Le syndrome subjectif est homogène : une sensation générale pénible, un inconfort vague, l'asthénie et la tendance à l'irritabilité, traduisent que, selon l'expression courante : « il y a de l'électricité dans l'air ». A ces symptômes généraux s'ajoutent une céphalée sourde, continue, tenace, associée à des paresthésies thoraciques ainsi que des troubles du sommeil, cauchemars et surtout insomnies.

● Les malades s'avèrent plus sensibles au vent d'Autan que les sujets sains; les psychiatres disent de l'Autan qu'« il fait crier les fous »; en réalité, il aggrave les manifestations névrotiques et les dystonies neuro-végétatives, avec réponse dans le sens du déséquilibre primitif : vagotonie ou sympathicotonie.

La nocivité du vent d'Autan vis-à-vis des algies de toute nature, chez certains asthmatiques et angineux, a été également signalée.

● Enfin, son influence sur les nourrissons se traduit par de l'instabilité thermique.

Chez les *animaux*, les seuls éléments cliniques recueillis dignes de foi sont :

— la difficulté respiratoire chez les chevaux atteints d'emphysème pulmonaire,

— l'anorexie et les accès de toux chez les porcs ayant des antécédents morbides pulmonaires,

— la procidence du corps clignotant chez le chat,

— l'oligospermie et la diminution de la libidò chez le taureau [cf. 308, 310].

En réalité, il importe de définir ce qui est dû au vent lui-même, c'est-à-dire des phénomènes également rencontrés, par exemple, avec le Mistral en Provence, la Tramontane en Roussillon, ou le Noroît en Bretagne, et ce qui est propre au vent d'Autan, c'est-à-dire des effets spécifiques.

I. — Barosensibilité.

Les troubles provoqués par des chutes brutales de la pression atmosphérique se caractérisent par : des malaises de type lipothymique, des sensations vertigineuses, des nausées, et l'hypotension, ainsi que des phénomènes de décompensation chez les cardiaques.

Ces phénomènes ne sont pas obligatoirement liés au vent d'Autan, ils traduisent une *barosensibilité;* du reste, ils sont sans objet dans le cas particulier de l'Autan puisque la chute de pression n'est pas la règle.

II. — Anémo-sensibilité.

La turbulence, les rafales, les tourbillons du vent d'Autan ne sont pas à l'origine de son retentissement biologique particulier; le « pseudo-Autan blanc », (vent faible ou modéré de Nord-Est, contournant le Massif Central par le Sud), de même turbulence mais d'origine différente, est bien toléré.

L'agression des vents violents [11] se traduit par des symptômes de conjonctivites, de coryzas, de trachéites, per-

mettant de définir une *anémosensibilité*, et il suffit d'un abri pour y échapper. Avec l'Autan, l'influence persiste à l'intérieur des locaux. De même, la chaleur et la sécheresse de l'Autan sont relatives : l'effet thermique porte sur les minima, et l'effet hygrométrique sur les clochers nocturnes; du reste, l'Autan blanc présente des caractères de sècheresse et l'Autan noir « mouille le pavé ».

III. — Electrosensibilité.

L'opposition d'effets observés à Toulouse entre le vent d'Ouest et l'Autan rend logique le rapprochement des effets de l'Autan aux prodromes d'un violent orage, lorsque se développent entre les nuages et le sol de formidables différences de potentiel. Les descriptions suivantes ont la valeur d'une expérience : « Dans la période qui précède l'orage, je me sens oppressé. Ce malaise disparaît si je m'installe sur le tabouret isolant en rapport avec le pôle négatif d'une machine électrostatique en action. Il augmente avec le pôle positif ». (D'Arsonval, 1934). « Un médecin souffrant, un jour d'orage, d'extrasystoles, constate que celles-ci se synchronisent parfaitement avec les parasites atmosphériques détectés par son récepteur de radio » (Jardel, 1960). « J'ai bien mal dormi. Moîte insomnie d'une nuit torride et qui s'achève. L'aube pointe... Des éclairs fauves labourent le plomb fondu du ciel de leurs lances infléchies et grésillantes. Le tonnerre gronde, gronde de ses « r, r, r, » têtus et sonores. L'orage, enfin, éclate. Je respire, détendu... ». (R. Florio, 1969).

Effectivement, la période du vent d'Autan est annoncée et accompagnée par des perturbations atmosphériques se traduisant par un afflux d'ions positifs. Depuis les travaux de Dessauer [90] réalisés à Leipzig en 1931, on connaît chez l'homme les effets opposés des ions positifs par rapport aux ions négatifs dont l'action est sédative [19, 24, 81, 82, 209, 210]. Vasiliev [303, 304, 305], à l'Institut de Physiologie de Leningrad, Kornbluech [159 à 169] à l'Institut de Climatologie Médicale de l'Université de Pensylvanie, Krueger [171 à 188] au Département de Bactériologie de l'Université de Californie, ont précisé par ailleurs que le syndrome provoqué par une exposition à une source d'ions positifs, d'une intensité voisine de celle d'un temps orageux, se traduit par des symptômes (fatigue, migraine, torpeur) rappe-

lant ceux du vent d'Autan. Une telle analogie suggère que l'*anémosensibilité* élective à l'Autan n'est autre qu'une *électrosensibilité*, ou, en d'autres termes, que les troubles caractéristiques du « syndrome vent d'Autan » sont proches du syndrome du temps orageux. L'agitation, l'anorexie, l'insomnie du nourrisson sont communes à ces deux syndromes. Les céphalées, les insomnies et les angoisses de l'adulte sont également voisines dans les deux cas.

Aussi, la corrélation météoropathologique du « syndrome vent d'Autan » paraît-elle être celle d'une perturbation du champ électrique terrestre. Cet aspect du problème conduit à l'étude de l'ionisation de l'air.

« L'hygiène électrique, la pathologie et la thérapeutique électriques sont des sciences nouvelles dont l'importance ne peut plus être mise en doute ».

Berthelon P. 1780 [31].

CHAPITRE III

L'AÉRO-IONISATION

Les particules électrisées de l'air, appelées *ions atmosphériques,* interviennent par leur nature et leur nombre sur l'impression de bien-être de l'individu. A l'état fondamental, la charge du noyau équilibre celle des électrons. L'apport d'énergie par élévation de température, par bombardement avec des particules animées d'une vitesse suffisante, ou encore, par un rayonnement énergique, c'est-à-dire de fréquence élevée, fait passer l'atome du niveau fondamental à un niveau d'énergie supérieure, dit « *état excité* ». Si l'apport d'énergie est suffisant pour arracher un électron à l'attraction du noyau, cet électron devient « *libre* ». L'atome, privé d'un électron, possède alors une *charge positive* égale et de signe contraire à celle de l'électron. Il devient un *ion positif*.

A. — IONISATION NATURELLE.

1. Facteurs d'ionisation.

Les premiers décelés furent ceux des *radioéléments* qui existent à l'état de traces dans l'air et dans le sol (Elster et Geitel, 1902) : la radioactivité de l'air étant en partie natu-

relle et en partie apportée par les essais d'explosions nucléaires, l'industrie et les rayons cosmiques [127]. L'atmosphère du globe contient généralement trois groupes d'éléments : le *tritium* $^{3}_{1}$ T et le *carbone* $^{14}_{7}$ C (gaz), le *radon* (gaz) et ses dérivés solides, le *thorium* et ses dérivés solides (aérosols) ; *les produits de fission* (aérosols) et le *krypton* $^{35}_{36}$ Kr (gaz).

La désintégration des gaz radioactifs, (radon) produit dans l'air des rayonnements α, β, γ, ionisants [194]. Les rayonnements α ou particules d'hélium $^{4}_{2}$ He++, lancées à une vitesse voisine du dixième de la vitesse de la lumière, (entre 14 000 et 25 000 Km/s) sont rapidement absorbés par le milieu extérieur. Dans les 3 à 9 cm d'air que traversent ces particules, on peut observer la formation de 190 à 250 paires d'ions. Les rayonnements β c'est-à-dire des *électrons*, lancés à des vitesses voisines de celle de la lumière ($\simeq$ 300 000 Km/s), sont, malgré leur vitesse, moins ionisants que les rayons α par suite de leur masse infime. Sur un parcours moyen de plusieurs mètres, ils ne forment que 20 à 25 000 paires d'ions. Quant aux rayons γ qui sont des rayons X très pénétrants, parcourant dans l'air plusieurs dizaines de mètres, ils ont, en raison de leur faible longueur d'onde, une énergie supérieur à celle des ultraviolets. La formation des ions sur leur parcours est voisine de 30 000. Les radioéléments, à l'origine de tels rayonnements, n'existent que dans les couches d'air situées au-dessus des continents, car ils proviennent eux-mêmes de la désintégration de radioéléments contenus dans le sol à l'état de traces (radium 10^{-12} g, thorium 10^{-5} g, uranium 10^{-6} g par g de minerai). Leur désintégration donne naissance à des émanations gazeuses radioactives : le radon, le thoron, l'actinon; seul, le radon (période de 3,8 jours) a une vie assez longue pour passer dans l'air des capillaires du sol et, de là, pénétrer dans l'air extérieur. Par une sorte de « *respiration du sol* », résultant d'une baisse de la pression atmosphérique, ou d'un vent, ou encore d'une variation de température, l'air du sol est comme aspiré par l'extérieur et avec lui les ions qu'il contient. Le rayonnement γ des radioéléments du sol pénètre loin dans l'air extérieur, et constitue un puissant facteur d'ionisation de l'atmosphère.

Le *rayonnement cosmique* prévu dès 1902 par Wilson pénètre jusqu'à nous à travers les différentes couches de l'atmosphère. Son origine est à rapprocher des éruptions au

niveau de la *chronosphère* qui constitue l'atmosphère basse du soleil. Une telle éruption ressemble à une fontaine lançant des jets de matière solaire d'une hauteur d'un demi-million et plus de kilomètres, à une vitesse dépassant 700 km/s. A ces jets de matières visibles pour l'astronome, s'ajoutent des torrents de particules diverses quittant le soleil [39] et s'évadant dans l'espace interplanétaire [28] à une vitesse de 1 600 Km/s, c'est-à-dire qu'ils atteignent l'atmosphère terrestre en *24 heures*. (Velinov, 1966). Les particules décelables sur les océans et les continents sont relativement peu nombreuses en comparaison de celles qui sont émises par une source radioactive même faible (notre corps en reçoit environ 2 millions par jour, alors qu'une millicurie de radium en expulse 30 millions par seconde). Au niveau de la mer, l'action ionisante des rayons cosmiques a été trouvée égale à 1.5 - 1.8 ions par cm^3 et par seconde. Elle constitue le facteur essentiel de l'ionisation de l'air au-dessus des océans et des calottes glaciaires, alors qu'elle passe au second plan dans le cas des couches d'air voisines du sol.

Les facteurs secondaires d'ionisation sont multiples. Depuis les expériences de Lenard (des gouttes d'eau jaillissant sur un plateau métallique donnent à l'air une charge négative), on sait que la division brusque de masses d'eau en fines particules est une cause énergique de production d'ions. Dans la nature, cette ionisation est produite au niveau des sources jaillissantes et des cascades, à la surface de la mer lors du déferlement des vagues [194] et des phénomènes de flux et de reflux des marées. Ces ions transportés par les vents, peuvent faire varier notablement le coefficient d'ionisation de l'air des régions voisines [147]. De plus, par temps d'orage, l'accroissement important du gradiant de potentiel, et les frottements dus aux grandes turbulences, constituent des facteurs locaux supplémentaires d'ionisation [216— a].

Enfin, les phénomènes de photosynthèse chlorophyllienne (la rétention de l'hydrogène ionisé de l'eau, libère de l'oxygène ionisé dans l'air), et la production de cet oxygène ionisé par la flore et le plancton marins accroissent temporairement et localement l'ionisation de la troposphère* [175].

(*) Elle constitue la couche changeante, entre 0 et 6-18 km, la partie agitée de l'atmosphère aux caractères variés et variables, renfermant 80 % du poids de l'air et la quasi-totalité de l'eau atmosphérique.

Pour toutes ces causes, des électrons sont arrachés continuellement à un plus ou moins grand nombre d'atomes, et des ions positifs et négatifs sont sans cesse formés dans l'air. Que deviennent ces ions ? Restent-ils à l'état monomoléculaire ? La mise en évidence de « petits » et de « gros ions » générateurs de la charge spatiale, fournit une réponse cohérente à ce problème.

2. Nature des ions.

L'apport d'énergie provoqué, soit par élévation de température, soit par bombardement avec des particules animées d'une vitesse suffisante ou encore par un rayonnement énergique, c'est-à-dire de fréquence élevée, fait passer l'atome du niveau fondamental à un niveau d'énergie supérieure, dit « état excité ». Si l'apport d'énergie est suffisant pour arracher un électron à l'attraction du noyau, cet électron devient « libre ». L'atome, privé d'un électron, possède alors une charge positive égale et de signe contraire à celle de l'électron :

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

Il devient un ion positif. La transformation est d'autant plus aisée que l'atome a tendance à compléter à huit électrons sa couche externe. Les atomes d'azote et d'oxygène ont, tous deux, tendance à capturer les électrons libres, mais la force d'attachement de l'électron libre est moins grande sur l'atome d'azote. Les ions négatifs susceptibles de se former dans l'air, sont, de ce fait, des ions d'oxygène. Quant aux ions positifs, ils se formeraient surtout à partir d'anhydride carbonique et d'azote. Les ions positifs et les ions négatifs ne restent à l'état monomoléculaire dans l'air, à la pression atmosphérique, que pendant un temps infime. Dès leur formation, grâce à l'agitation moléculaire et aux attractions électrostatiques, plusieurs molécules voisines se joignent à eux. Les agrégats moléculaires ainsi formés, porteurs d'une charge élémentaire, constituent des « petits ions » positifs ou négatifs de l'atmosphère ou encore des « *aéro-ions* » *légers* [254, 284].

L'examen des résultats expérimentaux selon la théorie physique moderne de la formation et de la composition des aéro-ions conduit à l'hypothèse que les ions $H+ (H_2O)$ et

H_3O+ (H_2O) n représentent la part physiologiquement active de l'air ionisé positivement, alors que les ions O_2 $-(H_2O)$ n et OH $-(H_2O)$ n forment la partie active de l'air ionisé négativement (Krueger et coll., 1968 [175]. Ainsi, les gros ions, lourds, ou « ions Langevin » résultent, soit de la fixation d'un ou plusieurs « petits ions » sur les particules solides ou liquides extrêmement fines contenues dans l'air (suies, fumées, produits d'érosion des roches, gouttelettes d'eau microscopiques), soit du gain ou de la perte d'un électron par ces mêmes particules, formant ainsi une paire d'ions. Enfin, les aérosols et particules solides de toutes natures peuvent constituer encore une troisième catégorie d'ions dits « ultra-gros-ions ».

Parallèlement à cette formation d'ions atmosphériques s'effectue leur neutralisation partielle par collision. Le taux de recombinaison des ions [77], lourds en particulier, qui s'exprime par une loi simple, mise en évidence par le Professeur Langevin [196], vaut environ :

$= 1{,}40 \cdot 10^{-6}$ recomb/cm^3.

En résumé, on observe dans l'atmosphère et à des degrés différents, et ce, de façon permanente, la génération et la recombinaison d'ions atmosphériques, légers et lourds, en fonction des lieux, des conditions géologiques, atmosphériques et météorologiques.

3. Caractéristiques.

Placés dans un champ électrique ou soumis à une différence de potentiel, ces ions, ou atomes à l'état « excité », se meuvent avec plus ou moins de rapidité, en fonction de leur masse et selon deux directions opposées, suivant leurs signes. On les caractérise en général par leur *mobilité*. Les petits ions sont doués d'une mobilité de 1 à 2.10^{-4} m/s pour un champ électrique de 1 v/m. Ils sont à la base de la *conductibilité* de l'air [146]. Les gros ions sont beaucoup moins mobiles (500 fois moins) et ils sont nettement plus nombreux surtout par temps humide, en atmosphère polluée et dans des locaux fermés [194, 213, 261]. Leur concentration est inversement proportionnelle à la conductibilité. L'atmosphère est d'autant plus conductrice qu'elle est peu polluée. Le seuil de pollution est atteint lorsque le rapport des gros ions sur les petits ions est égal à 50 [194, 75]. Le rôle des

ions ne se borne pas à celui d'indicateur, puisqu'il est établi maintenant que le degré de salubrité d'un climat, d'un local [104] est déterminé par la proportion des aéro-ions négatifs.

4. Facteurs de variation.

Les variations du rapport ionisation positive atmosphérique sur ionisation négative [84] ont pour origine les brusques écarts de la direction des vents [147] et de la nébulosité [50], ainsi que des passages de front au sol ou en altitude, précipitations, phénomènes orageux [143]. Une première analyse [112] fait apparaître que :

— la concentration moyenne des petits ions augmente avec la vitesse du vent;

— le rapport n^+/n^- décroit lors d'un temps pluvieux : il peut devenir inférieur à l'unité les jours de pluie;

— la charge spatiale décroit lorsque la pression atmosphérique augmente.

De même, Robinson (1964) analyse l'influence des facteurs météorologiques, des rayonnements terrestres et des retombées radioactives sur l'état électrique de la basse atmosphère, en particulier sur le nombre d'ions positifs (n^+) et négatifs (n^-) par unité de volume. Cet auteur montre que le rapport n^+/n^- s'élève de façon notable environ 10 à 12 heures *avant* que les instruments météorologiques de mesure n'enregistrent une augmentation de température [40] ou une diminution d'humidité. A peu près au même moment, les personnes sensibles à ces changements météorologiques commencent à en ressentir les effets. Une telle corrélation rend compte du phénomène de *précession* par vent d'Autan. Ce rapport s'élève aussi fréquemment à la fin d'une période d'Autan (voir fig. 7), c'est-à-dire au moment où certains effets biologiques sont les plus intenses.

B. — IONISATION ARTIFICIELLE.

I. Production.

L'ionisation naturelle de l'atmosphère étant variable,

$$\text{l'obtention d'un rapport } \frac{\text{ions positifs } (n^+)}{\text{ions négatifs } (n^-)} \text{ constant suppose}$$

un courant d'air ionisé unipolaire [102]. Le premier essai d'ionisation artificielle d'air date de 1910 (Steffens). La lumière U.V., les rayons X, les émanations de radio- éléments, les flammes, les sels et métaux incandescents, les effluves de courant à haute tension, les machines électrostatiques, furent utilisés. L'appareil de Dessauer [90] fait appel, comme source d'ions, à des blocs d'oxyde de magnésium chauffés à haute température. Il fait passer un courant d'air qui entraîne les ions produits à travers une grille portée à un potentiel élevé et de signe variable. Une source continue à débit important d'ions est le radium. L'intérêt est d'obtenir des ions à peu près semblables à ceux observés dans les basses altitudes; en effet, les ions de basses couches de l'atmosphère proviennent des radioéléments du sol, tandis que ceux des couches élevées sont produits par les rayons U.V. et cosmiques. Comme appareil de sélection, Mercier et Joyet disposent deux grilles planes parallèles, entre lesquelles ils créent un champ électrique. Les ions obtenus sont (+) si le champ électrique et le courant d'air sont de même sens, (—) s'ils sont de sens opposé. Le seul inconvénient réside dans le fait que le radium émet, non seulement les rayons α, β, sources d'ions, mais aussi un rayonnement γ nocif; on y remédie par une épaisse protection de plomb. Koller utilise un fil de tungstène, porté à un potentiel de 7 000 volts, contenu dans un cylindre relié à la terre, dans lequel passe un courant d'air (6 l/s) ; il produit des ions du signe du fil. Un courant à haute tension de 50 à 80 000 volts produit par une machine statique (un inducteur ou un transformateur), transmis à un réseau métallique suspendu au plafond sur des isolateurs, et muni de pointes (200 par m^2) fournit un courant unipolaire si l'on intercale un redresseur (Kénotron). L'autre pôle de la génératrice est à la terre : le sujet est placé à un

mètre des pointes. Il n'y a pas, dans cet appareil de Tchijewski, production d'ozone ni de produits azotés [288]. L'appareil de Walter comprend une série de pointes dépassant un plateau à polarité différente. La différence de potentiel est obtenue par un Kénotron. Il peut produire les ions des deux signes. Un courant d'air de 4 m/s entraîne les ions produits.

Au Centre de Recherches Climatologiques de Pau, Gourmel et coll. [126], ont utilisé successivement deux appareils. Le premier utilisé pour créer une charge spatiale négative, comprenait un accumulateur électrique alimentant, par l'intermédiaire d'un vibreur, une bobine d'automobile : le courant était ensuite redressé par une valve de télévision (Ey 86) et l'ensemble fournissait une tension de l'ordre de 1 000 volts. Cette tension était ensuite appliquée entre la terre et un fil chauffé par un courant électrique fourni par un second accumulateur; l'ensemble fil chauffant et batterie était bien isolé de la terre. Dans ces conditions, le fil chauffé produit une ionisation dans l'air qui l'entoure et, si le fil est porté à une tension négative par rapport à la terre, il attire les ions positifs et repousse les ions négatifs, créant ainsi une charge spatiale négative.

Depuis ces auteurs utilisent un second type de générateur, dans lequel la haute tension indispensable pour porter le filament à un potentiel élevé et la basse tension nécessaire pour assurer le chauffage du filament, sont plus simplement produites à partir du secteur. Dans tous les cas, l'appareil était placé dans une pièce d'environ 100 mètres cubes et le signe et la valeur de la charge de l'atmosphère étaient contrôlés. Au début des essais, la charge électrique produite était de 5 à 10 fois plus élevée que la charge naturelle; lors de l'utilisation du second générateur, elle était environ 20 fois plus élevée.

L'aéro-ioniseur préconisé par la Sames* résulte de travaux réalisés au Laboratoire d'Electrostatique de la Faculté de Sciences (Dir. Pr Felici); il est orienté en vue d'une précipitation électrostatique des poussières. Il fournit, pour V = 30 KV, d = 1 mètre, $2{,}10^6$ ions par cm^3.

(*) Sames, B.P. 150, 38-Grenoble.

II. Mesure de la densité d'ions produits.

a) Cas de l'électrode ionisante éloignée de tout conducteur à la masse d'une distance approximativement constante (pointe, fil fin, herse...) placés dans une pièce, loin des murs et du plafond.

ρ = densité de charge électrostatique due aux ions unipolaires;

$$\rho \backsim \frac{1}{4\pi} \times \frac{V}{d^2}$$

V = d. d. p. entre l'ioniseur et le point considéré;

d = distance du point considéré à l'ioniseur.

Cette formule est valable si le champ, créé au point considéré par l'électrode ionisante elle-même, est négligeable (dans le cas contraire, elle serait plus faible que le chiffre trouvé).

Exemple : pour V = 30 KV, d = 1 mètre, $\rho \simeq 10^{-3}$ UES, soit approximativement 2×10^6 ions par cm^3.

b) Cas de l'électrode ionisante proche d'une électrode ou d'une paroi à la masse : la formule précédente ne s'applique plus et la détermination de ρ nécessite une mesure de densité de courant.

i = densité de courant mesurée au point considéré;

$$\rho \backsim \frac{1}{\sqrt{4\pi K}} \sqrt{i/r}$$

r = distance de ce point à l'ioniseur;

K = mobilité des ions (environ 1 cm/s par V./cm ou 300 UES).

Cette formule s'applique également au cas 1.

Exemple : pour $i = 10^{-12}$ A/cm^2, r = 1 mètre, K = 300 UES, on trouve = 10^{-4} UES, soit environ 2×10^5 ions/cm^3.

« Cependant, du fond de l'horizon obscur, l'orage s'avance à pas de loup. Il s'appesantit sur l'oiseau qui rase la vague, sur le cœur de l'homme qui suffoque ».

GOETHE, Odes.

TROISIEME PARTIE

DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Effets du vent d'AUTAN sur l'activité nycthémérale des animaux

« Les animaux sont inquiets, nerveux et perdent du poids ».

DENARD et VOISIN, 1960.

Un examen approfondi de la structure météorologique, de la périodicité et des perturbations atmosphériques liées à l'Autan met en évidence l'importance d'une augmentation de la densité des ions positifs, quelle que soit la modalité de l'Autan (noir ou blanc). Par opposition aux ions négatifs dont on connaît l'action sédative [82, 24, 209, 81, 210, 19], l'ionisation positive de l'atmosphère au cours de l'Autan représenterait alors le facteur biométérorologique essentiel de ce vent régional, c'est-à-dire un facteur entraînant des effets excito-moteurs, [93, 94, 16, 123, 145, 150, 170, 203, 244] vis-à-vis de l'*activité nycthémérale des animaux*. Dans cette hypothèse, avant d'envisager une phase expérimentale proprement dite à l'aide de générateur d'ions positifs placé dans un micro-climat connu, nous nous sommes efforcés, dans un premier stade, d'identifier les incidences biologique du vent d'Autan sur l'*activité générale* et sur *les états de sommeil*.

La mise en corrélation des phénomènes biologiques observés au cours des périodes de vent d'Autan a été effectuée *a posteriori* à partir d'enregistrements continus à 2 m du sol et sous abri de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique (télé-météorographe STRUTZ) ainsi qu'à partir d'observations trihoraires de la direction et de la vitesse du vent.

— *l'ionisation* atmosphérique (densité d'aéro-ions positifs) a été mesurée au Centre de Physique Atomique et Nucléaire de la Faculté des Sciences.

— l'isolement du facteur ionisation atmosphérique, à l'exclusion de la température, de l'humidité, etc. a été réalisé grâce à l'emploi d'une cabine blindée anéchoïde dont la température intérieure, l'humidité, et le renouvellement de l'air sont fixes.

CHAPITRE PREMIER

EFFETS DE L'AUTAN SUR L'ACTIVITÉ NYCTHÉMÉRALE

A. — *ACTIVITÉ LOCOMOTRICE DE LA SOURIS.*

Le facteur de régulation alimentaire qui prime chez l'animal paraît bien être la régulation calorique de l'ingestion spontanée. Les petits rongeurs de laboratoire [142], en particulier, semblent capables d'adapter la grandeur de leur consommation de calories à l'intensité de leur dépense d'énergie en fonction, par exemple, de la température extérieure ou de l'exercice auquel ils se livrent. Le résultat de cette adaptation est le maintien d'un poids relativement constant pour une période donnée [264, 266].

Pourtant, il est des circonstances physiologiques normales où cette régulation est manifestement en défaut (cycle génital de la femelle). L'oestrus s'accompagne d'une chute de l'ingestion alimentaire. Or, cette phase du cycle correspond à une période d'activité spontanée accrue (multipliée par 3 ou 4 au moins) [138]. Inversement, pendant le dioestrus, l'ingestion alimentaire augmente, alors que l'activité passe par un minimum. Ce déséquilibre, qui s'accompagne de modifications de la température du corps, est à l'origine des variations de poids caractéristiques du cycle : chute au moment de l'oestrus, augmentation pendant le dioestrus. Dans notre étude visant l'identification du facteur étiopa-

thogénique de l'atmosphère, biologiquement actif lors de vent d'Autan, nous avons utilisé des souris mâles, de poids voisins, de même âge, et de même origine. Les animaux sont gardés dans un modèle de cage permettant d'enregistrer l'activité locomotrice spontanée. Il s'agit de cages à roues munies d'un compteur de tours et comportant un compartiment servant au repos et à l'alimentation, lequel communique par un orifice avec la roue mobile. L'animal peut donc, à son gré, se tenir tranquille ou bien courir dans la roue [69, 70].

L'analyse des résultats a porté sur l'ingestion alimentaire (prise de nourriture et prise de liquide), la distance parcourue et le temps d'activité locomotrice, ainsi que les variations pondérales concomitantes.

Les résultats globaux montrent, dans l'ensemble, de grandes variations individuelles pour l'augmentation de poids et l'activité de course spontanée lors d'une période donnée. L'ingestion alimentaire est également variable suivant les individus, mais à un degré moindre. L'examen statistique des moyennes calculées montre une *légère augmentation de la distance parcourue* par nycthémère au cours d'une période de vent d'Autan, mais la différence n'est pas significative à 5 %.

B. — *EFFETS DE L'AUTAN SUR L'ACTIVITÉ NYCTHÉMÉRALE CHEZ LE LAPIN.*

1. *L'activité du lapin,* appréciée par le décompte du pourcentage par 24 h des périodes de repos supérieures ou égales à 10 mn se révèle, en phase nocturne (de 21 h à 9 h) comprise entre 33 et 37 % et en phase diurne (de 9 h à 21 h) comprise entre 37 et 52 %. L'Autan accroît l'activité du sujet par 24 h de 40 % environ, toutes choses étant égales du point de vue de la température, de la luminosité et de l'hygrométrie.

La répartition de cet *effet excito-moteur* est uniforme, c'est-à-dire que la diminution de repos n'est pas plus importante la nuit que le jour et l'*intensité* du phénomène ne varie que faiblement.

TABLEAU II

ANALYSE STATISTIQUE DE L'EFFET EXCITO-MOTEUR DU VENT D'AUTAN SUR L'ACTIVITÉ NYCTHÉMÉRALE DU LAPIN

ACTIVITÉ	PÉRIODE DE VENT D'AUTAN	PÉRIODE PRÉCÉDENTE OU CONSÉCUTIVE
Diurne	r = 5 jours	r = 5 jours
Ex	139	279
Ex2	4 073	16 926
Nocturne	r = 5 jours	r = 5 jours
Ex	205	326
Ex2	8 671	22 012

ANALYSE DE VARIANCE DES RÉSULTATS
(Plan d'ordre 2 à 5 répétitions)

ORIGINE	SOMME DES CARRÉS	D.D.L.	VARIANCE	F
Entre jour et nuit	638	1	638	3,94
Entre périodes .	3 406	1	3 406	21,05
Interaction	18	1	18	0,11
Résiduelle (directe	2 590	16	161,8	
TOTAL	6 652	19		

A 5 %	$F^1_{16} = 4,49$	$F = 3,94 < F^1_{16}$	Pas de différence significative entre le jour et la nuit.
A 1 %	$F^1_{16} = 16,12$	$F = 21,05 > F^1_{16}$	Les périodes diffèrent très significativement ($\alpha < 0,001$).
A 5 %	$F^1_{16} = 4,49$	$F = 0,11 < F^1_{16}$	Il n'y a pas d'interaction significative.

2. *Variations liées à l'Autan.*

Les valeurs de repos par 24 h relevées avant, pendant et après une période de vent d'Autan (57,7 %, 34,3 % et 63,3 %) sont comparables aux valeurs moyennes relevées pour les 8 périodes enregistrées (52,3 %, 31,7 %, 66,4 %). La figure 8 montre le pourcentage moyen de repos observé chez le lapin au cours d'une période de vent d'Autan de 5 jours. La diminution de 43,2 % du temps de repos est comparable à celle observée [16] chez le rat soumis à une ionisation artificielle unipolaire positive.

Figure 8

CHAPITRE II

EFFETS DE L'AUTAN SUR LES ÉTATS DE SOMMEIL CHEZ LE CHEVAL

A. — *L'ACTIVITÉ CORTICALE* chez le cheval éveillé se caractérise par des ondes de 20-30 c/s et d'amplitude moyenne de 50 μV. Elle correspond à des périodes d'attention à des bruits insolites et traduit un *état d'hypervigilance.* Un tracé relativement plat indique le *repos psycho-sensoriel.* L'apparition de fuseaux de 10/12 c/s de fort voltage (50 à 100 μV) associés à des ondes à 4 c/s traduit l'état de *somnolence*; enfin, un mélange d'ondes lentes à 2-4 c/s (20 μV), d'ondes à 7-8 c/s (100 μV) et à 12 c/s (50 μV) correspond à l'état de *sommeil à ondes lentes* (SL) que le sujet soit debout ou couché [242]. La désynchronisation totale qui apparaît dans les minutes qui suivent le décubitus latéral complet, correspond à un état de *sommeil paradoxal* (SP). Le rythme, voisin de 20 c/s et infravolté, ne se distingue en rien de celui de l'état de veille. Ces phases de SP sont précédées d'une période plus ou moins longue de sommeil à ondes lentes et sont suivies du réveil. Trois ou quatre phases de sommeil avec, pour chacune d'entre elles, 3 à 4 cycles de somnolence, SL et SP, surviennent chaque nuit, pratiquement durant les périodes de décubitus, entre minuit et 5 h [243].

Les manifestations végétatives concomitantes se ramènent à un ralentissement significatif (pour $p \leqslant 0{,}05$ et 200 mesures) de la fréquence cardiaque au cours du SL

par rapport à l'état d'hypervigilance 39,0 ± 2,9 contre 43,5 — 5,1, et de la fréquence respiratoire au cours de la somnolence et du SL par rapport à l'état d'hypervigilance, 12,5 ± 2,8 et 9,8 ± 1,7 contre 19,6 ± 4,8. Les données quantitatives extrêmes observées pour 5 nuits d'enregistrement témoin sont les suivantes :

— pourcentage de décubitus (entre 20 h et 8 h) 17 à 34 % ;

— durée de veille (en p. 100 entre 20 h et 8 h) 59,3 à 67,9 % ;

— durée des sommeil paradoxal, 4,1 à 9,7 % ;

— durée de somnolence et de sommeil à ondes lentes, 16,1 à 34,2 %.

La dispersion relativement grande des résultats n'est pas différente dans le cas où l'on envisage un plus grand nombre d'enregistrements et rend délicate toute analyse statistique des effets biologiques d'un phénomène météorologique.

Les relations existant entre l'électrocorticogramme et le comportement sont les suivantes :

— chez le sujet debout, lors de l'état de *somnolence*, un seul membre postérieur est à l'appui, l'autre est en semi-flexion. Le membre à l'appui soutient le corps de façon passive par suite du blocage par la rotule de l'articulation du grasset.

— l'étude polygraphique a mis en évidence, chez tous les sujets, l'existence de *décubitus sterno-abdominal*, mais durant des périodes variables : de 30 à 35 % lors d'une nuit ordinaire et de 41,7 % lorsque souffle l'Autan.

— que le sujet soit debout ou couché, l'état de *sommeil à ondes lentes* se traduit par l'appui de l'extrémité de la tête sur le bord de la mangeoire ou au sol. Les oreilles, pointées à la verticale à l'éveil, s'abaissent progressivement. L'érection de la verge et des mâchonnements sont souvent observés. La respiration, ample et régulière, est souvent bruyante avec des pauses inspiratoires de 10 à 12 s. La fréquence cardiaque à peine ralentie (5 à 6 %) ne laisse apparaître aucune irrégularité.

Les manifestations motrices très spectaculaires qui caractérisent l'état de *sommeil paradoxal,* comprennent :

- des salves de mouvements oculogyres laissant apercevoir les sclérotiques dans l'intervalle des occlusions palpébrales spastiques;
- l'orientation dans tous les sens selon une chronologie variable des pavillons des oreilles tendues et attentives;
- l'agitation spasmodique de la houppe mentonnière et parfois le retroussement de la lèvre supérieure;
- des clonies faciales et des muscles du corps;
- des mouvements élaborés de pédalage, de ruades et d'encapuchonnement accompagnés de phénomènes de vocalisation (hennissement de durée variable).

B. — *LES EFFETS DE L'AUTAN SUR LE SOMMEIL.*

Trois enregistrements correspondent soit au début d'une période de vent d'Autan (nuit du 7 au 8 janvier), soit à la fin de cette même période (nuit du 10 au 11 janvier). Les coordonnées météorologiques indiquent vers 23 h, le 7-8 janvier, un relèvement thermique de 11°C et une chute de l'humidité relative de 100 à 55 % sans variation importante de la pression atmosphérique (voir fig. 9). Par contre, la diminution de l'humidité relative est le seul phénomène important la nuit du 10-11 janvier.

Figure 9

Par rapport au tracé témoin, totalisant 62 % de veille, le début ou la fin d'une période de vent d'Autan ne s'accompagne pas de modifications importantes (63 % le 7-8 janvier — 69,1 % le 10-11 janvier). Le pourcentage de sommeil à ondes lentes et celui de sommeil paradoxal ne sont pas non plus modifiés de façon significative. Or, l'examen de la figure 10 fait apparaître trois phénomènes essentiels :

- le premier concerne le décalage vers 6 heures du matin le 7-8 janvier d'une importante période de sommeil. Il traduit fidèlement le fait que, lorsque le vent d'Autan se lève, les animaux « dorment » volontiers plus tardivement le matin.

● le second est relatif à l'apparition de phases de sommeil à ondes lentes relativement longues dès le début de l'Autan.

● le troisième implique des phases de sommeil paradoxal prolongées à la fin de la période de vent d'Autan, alors que la durée moyenne des phases de sommeil à ondes lentes est redevenue « normale ».

Figure 10

Sur le plan somato-végétatif, l'examen des fréquences cardiaque [15] et respiratoire est en faveur d'une légère augmentation du travail cardiaque pour un même degré de vigilance. Ainsi, le rythme cardiaque au cours du sommeil à ondes lentes (42,3 ± 4,0 par mn) correspond à une augmentation de 7,9 % la nuit du 7-8 janvier. Un tel rythme se retrouve le 10-11 janvier, légèrement renforcé (+ 9,4 %). Il n'apparaît pas au cours des nuits à fort vent d'Ouest pour lesquelles le rythme reste normal et égal à 38,3 ± 3,9 par mn.

« Oh ! Les cîmes des pins grincent
[en se heurtant,
Et l'on entend aussi se lamenter
[l'Autan »

G. Appolinaire.

CHAPITRE III

DISCUSSION

Dans presque tous les pays du monde, un folklore impressionnant entoure l'activité biologique des vents : Zonda, Santa Ana, Foehn, Khamsin, Mistral ou Autan. Partout où ils soufflent, leurs victimes leur attribuent des maux respiratoires divers, la nervosité, le mal de tête et de nombreuses autres maladies [4, 172]. On sait, depuis le début du siècle, que les ions atmosphériques constituent une partie essentielle de l'atmosphère terrestre [31, 56]. Leur structure physique est bien définie [43], mais leur activité biologique reste imprécise. En effet, l'ionisation atmosphérique est le facteur d'ambiance [85, 19, 312, 251] dont les effets biologiques sont les plus variés et les plus controversés. Une rapide bibliographie permet de constater que des effets ont été décrits tant au niveau organique [266, 134, 73, 72, 24, 304, 317, 145, 232, 152, 119, 170, 265, 255, 83, 204, 17, 309, 313, 121, 285, 310, 280, 283], (modification du rythme ventilatoire, etc.) qu'au niveau cellulaire [101, 331, 321, 308, 311] (effets bactériostatiques et bactériolytiques, modification de la fréquence des battements ciliaires de la trachée, etc.) et même au niveau moléculaire [140, 71,

136] (modification de la capacité plasmatique de fixation de gaz carbonique, modification du métabolisme de la cytochrome-oxydase, etc.). Guillerm et coll. (1969) précisent que les effets observés dans le domaine psychophysiologique sont presque exclusivement dus aux ions positifs et se traduisent par une détérioration des performances (temps de réaction diminués; scores réduits pour les tests de barrages et de codages). Ces conclusions rejoignent partiellement celles de Koyranski et coll. (1961), qui ont pu conclure à une inhibition du système nerveux central sous l'effet des aéro-ions. Toutes ces modifications sont apparentes dès le début de l'exposition et s'amplifient au fur et à mesure de l'exposition. La séquence post-période met en évidence un effet résiduel de l'ionisation atmosphérique. Toutefois, dans le cas du Foehn [95, 211, 212, 220] et, récemment, du Khamsin [235, 236, 282], il existe une corrélation positive entre leurs effets et la présence d'une concentration ionique élevée de l'air.

Les données météorologiques impliquent que les effets du vent d'Autan ne soient pas liés directement à des microfluctuations barométriques, ni à des phénomènes de turbulence, ni à des effets thermohygrométriques. Les données expérimentales supposent par ailleurs une *diminution des périodes de repos*, durant le nycthémère, chez le lapin, et des *pertubations qualitatives de la fonction hypnique* chez le cheval. De tels phénomènes, non directement liés à des variations de la turbulence de l'air, de la température ou de l'humidité, renforcent l'hypothèse selon laquelle l'*ionisation atmosphérique positive* serait en grande partie responsable des effets biologiques du vent d'Autan. Elle paraît plausible en regard des effets des ions positifs vis-à-vis de l'électrogénèse cérébrale [258, 259] et de la concentration du cerveau en sérotonine [177, 247].

Les aéro-ions positifs empruntent l'arbre bronchique [6, 26, 68, 132, 133, 157, 187, 222, 223, 248] et exercent leur action sur l'organisme [117] par voie *réflexe* à partir de récepteurs pulmonaires [48] et par voie *humorale*. En effet, on retrouve les effets de l'inhalation d'aéro-ions à la fois chez l'animal à encéphale isolé et au cours d'expériences de circulation céphalique croisée [305]. Parmi les manifestations humorales [109, 190, 214, 17, 229, 260, 319, 313] en particulier l'hypotension, l'hypoalbuminémie

et l'hypocholestérolémie [123, 279] chez l'homme, une forte lymphopénie chez le lapin [126], l'*hypersérotoninémie* [78], est un phénomène commun à tous les animaux exposés à une ionisation positive artificielle ou naturelle. La 5-hydroxytryptamine [186, 188] ou *sérotonine* libérée serait responsable d'un syndrome respiratoire particulièrement accusé lors de troubles anatomo-fonctionnels pré-existants [2, 7]. A cela s'ajoutent l'inhibition de l'émonctoire rénal et celle des mécanismes de défense [176, 182]. L'ionisation négative [139], par contre, accélèrerait l'oxydation de la sérotonine et son élimination urinaire en 5-H.I.A.A.

Un second médiateur chimique des ions atmosphériques au niveau de l'arbre bronchique peut être envisagé si l'on sait que toute excitation électrique ou hormonale d'un tissu libère des *prostaglandines*. Ces analogues pharmacologiques de la sérotonine inhibent l'adényl-cyclase des membranes cellulaires, responsable de la synthèse de l'A.M.P. 3'5' (ou AMP-cyclique) à partir de l'ATP. L'AMP cyclique lui-même limite la biogénèse de ces acides gras prostanoïques par rétro-contrôle et agit surtout sur la lipolyse, la synthèse des stéroïdes, la sécrétion gastrique et les phénomènes de perméabilité à l'eau [14]. De plus, l'injection de prostaglandines (type E1 ou F2 α) se traduit, chez l'homme, comme pour la 5 OH-tryptamine, par des migraines et une tachycardie qui rappellent le syndrome vent d'Autan.

Un troisième mécanisme d'action de l'ionisation de l'air sur l'organisme a été démontré récemment par Olivereau [216-c et d]. Selon cet auteur, l'hypothèse de Frey [117], tendant à assimiler l'action des ions positifs et négatifs, respectivement à une *hypersécrétion de minéralo ou de gluco-corticoïdes*, si elle semble bien trop schématique, a cependant le mérite d'attirer l'attention sur la réponse différentielle du cortex surrénalien à la polarité de l'aéroionisation. Elle se manifeste chez le rat albinos soumis aux ions (+) par une faible hypertrophie de la glomérulée, insuffisante cependant pour modifier la consommation spontanée de Na et de K. Par ailleurs, la rééquilibration du métabolisme hydrominéral et la manifestation d'une faible oligurie concomitante suggèrent la participation de l'axe hypothalamo-hypophysaire [216-e].

Que l'anémo-sensibilité élective à l'Autan soit en réalité une *électro-sensibilité*, rapprocherait le « syndrome vent

d'Autan » de celui du temps orageux. Dans ces conditions, on peut supposer que les effets normalement sédatifs de l'ionisation négative de l'air seraient efficaces en thérapeutique, en particulier au cours des phénomènes de *précession* de vent d'Autan.

Faut-il se relier, comme le préconisait d'Arsonval, au pôle négatif d'une machine électrostatique ou encore, évoluer dans une ambiance soumise aux effluves d'un générateur d'ions négatifs, [2, 12, 13, 18, 25, 59, 74, 86, 87, 105, 106, 312, 122, 154, 156, 196, 256], pour échapper au syndrome du vent d'Autan, ou faire appel à la thérapeutique que propose, dans le cas du Chamsin, le Professeur Sulman, de l'Université de Jérusalem ? Celle-ci comprend, outre l'aéro-ionisation négative des locaux, différents antagonistes de la sérotonine et des I.M.A.O. : Cyproheptadine (Periactine N.D.), Methysergide (Desernil N.D.), Deptropine (Brontine N.D.), Méthyldopa (Aldomet N.D.), Indomethacin (Indocid N.D.) sous contrôle de l'excrétion urinaire de 5 H.I.A.A., des 17 cétostéroïdes, des catécholamines, du sodium et du potassium.

L'importance des variations inter-individuelles semble devoir compliquer singulièrement ici toute analyse précise du phénomène dans les conditions naturelles.

« Qu'importe à l'heureux solitaire
Que l'Autan dévaste la terre
S'il ne fait qu'agiter ses bois ? »

V. Hugo, 1822, Odes, IV, 2.

CONCLUSIONS

Le *Vent d'Autan,* irrégulier, turbulent, violent, variable, souffle du S.E. dans la partie orientale du Bassin Aquitain. L'examen de ses particularités météorologiques et de ses effets biologiques sur les animaux sains rend vraisemblable l'influence spécifique de l'ionisation positive concomitante de l'atmosphère, à l'exclusion de toute influence thermo-hygro-barométrique. L'aéro-ionisation positive de l'air et la contre-épreuve en chambre climatique devraient permettre de savoir si *l'hyper-activité nycthémérale* observée chez le lapin et les *perturbations de la fonction hypnique* rencontrées chez le cheval au cours des périodes de vent d'Autan, représentent des phénomènes spécifiques.

Vu, le Professeur
de l'Ecole Vétérinaire,
Rapporteur :
Y. RUCKEBUSCH.

Vu, le Directeur
de l'Ecole Vétérinaire :
R. FLORIO.

Vu, le Président
de la Thèse :
Y. LAPORTE.

Vu, le Doyen :
LAZORTHES.

N° 391
Vu et permis d'imprimer :
Toulouse, le 16 juin 1970.

Le Recteur,
Président du Conseil de l'Université :
C. CHALIN.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aagaard (J.S.), Wolfson (A.).
Transistor equipment for continous recording of oriented migratory behaviour in birds.
I.R.E. Trans. med. Electron., 1962, *9*, 204-208.

2. Abramov (S.S.), Gankovich (V.I.).
Ionized air (hydro-aero-ionization) for the treatment of calf bronchopneumonia.
Veterinariya, 1968, *3*, 58-59.

3. Adams (R.E.), Wolfe (J.E.).
Detection of internal insect infestation in grain by sound amplification.
Cereal. Chem., 1954, *31*, 271-276.

4. Altman (P.L.), Dittmer (D.S.).
Environmental biology.
Biological Handbooks, Federation of American Societies for Experimental Biology edit., 1966, *1*, 320-325.

5. Amos (T.G.).
Time lapse photography with synchronised electronic flash for recording insect behaviour.
Anim. Behav., 1965, *13*, 558-560.

6. Andersen (I.).
The effect of ionized air on ciliary activity and mucus flow in trachea.
Int. Biometeorol Congr., Montreux; Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *1*, 190 p.

7. Andreev (I.A.), Volkov (G.K.).
Ionized air for the prophylaxis and treatment of respiratory diseases in animals.
Veterinariya, 1966, *2*, 103-105.

8. Andrews (T.G.), Harlow (H.F.).
Methodes de la psychologie.
P.U.F. édit., 1952, *1*, 395-420.

9. Andrieu (A.).
Nouvelles conceptions électroniques de l'actographie appliquée à l'étude des Invertébrés.
Ann. Epiphyt., 1968, *19*, 483-499.

10. Aschoff (J.).
Messung der lokomotorischen Aktivität von Mäusen mittels mechanischer Gleichrichter.
Pflügers Arch., 1951, 254-262.

11. Assman (D.).
Zur Physiologie und Pathophysiologie der Reaktionen auf atmosphärische Umwelteinflüsse.
Z. ges. inn. Med., 1964, *19*, (9), 385-389.

12. Avy (A.P.).
Les aérosols.
Dunod édit. Paris, 1956, 1 vol.

13. Bachman (C.H.).
Air ion apparatus.
Rev. Sci. Instrum., 1968, *39*, (8), 1168-1170.

14. Bachman (C.H.), Hartaux (F.X.).
The influence of air ion on the evaporation rate of water.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 317.

15. Bachman (C.H.), Mc Donald (R.D.), Lorenz (P.J.).
Peak changes in electrocardiograms of rats exposed to air ions.
Int. J. Biometeorol., 1966, *10*, (1), 101-102.

16. Bachman (C.H.), Mc Donald (R.D.), Lorenz (P.J.).
Some effects of air ions on the activity of rats.
Int. J. Biometeorol., 1966, *10*, (1), 39-46.

17. Bachman (C.H.), Mc Donald (R.D.), Lorenz (P.P.).
Some physiological effects of measured air ions.
Int. J. Biometeorol., 1965, *9*, 127-139.

18. Badre (R.), Guillerm (R.).
Production d'atmosphères surionisées unipolaires. Appareillage de mesure.
Ann. Inst. Hydr. Clim., 1969, *40*, (107), 115-126.

19. Baidevljatov (A.B.).
Oxygen ions in the air of poultry houses.
Veterinariya, 1966, *43*, (8), 106-109.

20. Bailey (S.W.), Mc Cabe (J.B.).
The detection of immature stages of insects within grains of wheat.
J. Stored Prod. Res., 1965, *1*, 201-202.

21. Banks (C.J.).
The use of radioactive Tantalium in studies of the behaviour of small crawling insects on plants.
Br. J. Anim. Behav., 1955, *3*, 158-159.

22. Battan (L.J.).
Climate and man.
Science, N.Y., 1969, *166*, (3904), 533-543.

23. Becker (F.).
Die Zusammenarbeit von Medizinern und Meteorologen bei bioklimatischen Gutachten, Beratungen und Auskünften.
Archs. phys. Ther., 1967, *19*, (5), 498-500.

24. Beckett (J.C.).
Biologic effects of ionized air in man.
Amer. J. phys. Med., 1958, *37*, (2), 83-89.

25. Beckett (J.C.).
Dynamics of fresh air as seen from the viewpoint of ionization in a changing environment.
Ashrae Jl., 1959, *1*, (5), 13-15.

26. Beckett (J.C.), Krueger (A.P.).
Experiments with air ions on the trachea.
Communs. Electron. USA, 1961, *52*, 695-699.

27. Bedoiseau (J.).
Météorologie et médecine vétérinaire.
Thèse Doct. Vét., Paris, 1935, 87 p.

28. Benediktov (E.A.), Korobkov (J.S.), Tolmacheva (A.V.).
Ionisation anormale dans la basse ionosphère, aux latitudes moyennes, durant les tempêtes magnétiques planétaires.
Geomagn. elektromet. Byull., 1965, *5*, (4), 698-704.

29. Bergström (R.M.), Blafield (R.), Fruhstörfer (H.), Hytönen (Y.), Jauhiainen (T.).
A sound-attenuating, electrically shielded chamber for experiments in sensory physiology.
Acta physiol. scand., 1969, *75*, 330-332.

30. Berndt (G.).
Der Alpenföhn in seinem Einfluss auf Natur und Menschenleben.
Petermanns Mitt. 1886, *83*, 1-4.

31. Bertholon (P.).
De l'électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie.
Bernuset édit. Lyon, 1780.

32. Bianca (W.).
The effect of repeated short exposures to heat on the volume and hydratation of the blood of the calf.
Br. Vet. J., 1957, *113*, (6), 227-241.

33. Bisconte (J.).
Application d'un procédé électromagnétique à l'étude graphique de mouvements et de déplacements.
C. r. hebd. Acad. Sci., Paris, 1964, *259*, 889-891.

34. Bitsch (J.), Rousset (A.).
Microactographe photoélectrique pour Arthropodes terrestres.
Trav. Lab. Zool. Stn. aqui. Grimaldi, Dijon, 1959, *27*, 1-15.

35. Blacklund (H.O.), Ekerood (S.).
An actograph for small terrestrial animals.
Oikos, 1950, *2*, 213-216.

36. Bonneton (M.).
Météorologie et coliques du cheval.
Thèse Doct. Vét., Paris, 1948, 64 p.

37. Booy (J.), Niekerk (J. Van).
Untersuchungen eventuell anwesender Fremdgasse.
Beitr. Geophys., 1935, *44*, 434-439.

38. Bossolasco (M.), Meda (F.).
Perfegianamenti misure di ellectricita atmospherica
Annali Geofis., 1953, *25*, 214-239.

39. Bourdila (A.M.).
Etude des effets ionosphériques de l'éclipse de soleil du 30 mai 1965 utilisant les observations faites par sondage Zénithal classique en Polynésie.
J. atmos. terr. Phys., 1967, *29*, (12), 1499-1509.

40. Bowling (T.S.), Raitt (W.J.).
Investigations of positive-ion composition and temperature and electron-density and temperature.
Bull. Cent. Etud. Rech. scient., Biarritz, 1969, *4*, 39-42.

41. Brian (M.V.).
On the ecology of beetles of the *Genus Agriotes* with special reference to *A. obscurus*.
J. Anim. Ecol., 1947, *16*, 210-224.

42. Brown (R.H.J.), Unwin (D.M.).
An activity recording system using infra-red detection.
J. Ins. ect. Physiol., 1961, *7*, 203-209.

43. Bruller (P.), Reinet (J.).
Biometeorological significance of the study of atmospheric ionization.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *2*, 241 p.

44. Busnel (R.G.).
Quelques applications de techniques électroacoustiques à la métrologie de certains aspects du comportement.
Annls. Soc. r. zool. Belg., 1958, *89*, 49-92.

45. Busnel (R.G.), Dziedzic (A.)
Rythme du bruit de fond de la mer à proximité des côtes et relation avec l'activité acoustique des populations d'un cirripède fixé immergé.
Cah. océanogr., 1962, *14*, 293-322.

46. Busnel (R.G.), Pasquinelly (F.).
Nouvelle application de la technique électroacoustique d'enregistrement de mouvements physiologiques de très faible amplitude à l'actographie de la Drosophile intoxiquée par des insecticides.
C.r. Séanc. Soc. Biol., 1954, *148*, 1587-1589.

47. Busnel (R.G.), Pasquinelly (F.), Dumortier (B.).
La trémulation du corps et la transmission aux supports des vibrations en résultant comme moyen d'information à courte portée des Eppiphigères mâle et femelle.
Bull. Soc. zool., Fr., 1955, *80*, 18-22.

48. But (V.I.)
Changes in activity of vagal inspiration neurons on exposure to air ionization or to the effects of pharmacologic agents.
Sechenov physiol. J., S.S.S.R., 1966, *52*, (6), 729-733.

49. Canaway (R.J.), Raymond (W.F.), Taylor (J.C.).
The automatic recording of animal behaviour in the field.
Electron. Engng., 1955, *27*, 102-110.

50. Carles (L.M.)
Agents pathogènes du climat. Les éléments contre l'homme.
Masson et Cie édit., (Paris), 1945, 122-206

51. Carles (L.M.).
Contribution à l'étude de la Météorologie médicale.
Thèse Doct. Méd., Paris, 1936, 147 p.

52. Carre (F.), Lille (F.), Monod (H.).
Un actographe différentiel pour l'étude de la motilité spontanée chez l'homme.
J. Physiol., Paris, 1967, *59*, 310-311.

53. Chambers (P.L.), Salmons (T.J.).
An electronic animal activity recorder.
Experientia, 1966, *22*, 127-128.

54. Charpentier (J.).
Etude neuro-pharmacologique et électrophysiologique du comportement à la douleur chez le rat.
Thèse Doct. Sci., Paris, 1965, 193 p.

55. Charpentier (R.).
Contribution à l'étude de la météoropathologie. Recherches sur le syndrome du Vent du Midi.
Thèse Doct. Med., Lyon, 1928, 115 p.

56. Chauveau (B.).
Electricité atmosphérique.
Doin édit., (Paris), 1922, 1 vol.

57. Chauvin (R.).
Deux appareils pour l'étude de l'activité des petits animaux.
Bull. Soc. zool., Fr., 1943, *68*, 53-56.

58. Chiles (W.D.), Cleveland (J.M.), Fox (R.F.).
A study of the effects of ionized air on behaviour.
U.S. Dept. Commerce édit., (Washington), 1960, 1 vol., III, 20 p.

59. Chkoniya (T.T.).
Applications of ionized air and electro-aerosols.
Trudy vses. Inst. vet. Sanit., 1966, *26*, 62-66.

60. Clarke (A.M.).
Specifications and characteristics of a sound-proofed, electrically shielded and thermally insulated room.
Aust. J. Psychol., 1965, *17*, 124-132.

61. Cloudsley-Thompson (J.L.).
Rhythmic activity in animal physiology and behaviour
Academic Press édit., (New-York, London), 1961, 11-23.

62. Cloudsley-Thompson (J.L.).
Studies in diurnal rhythms I. Rhythmic behaviour in millipedes.
J. exp. Biol., 1951, *28*, 165-172.

63. Commoner (B.).
Evaluating the biosphere.
Science J., 1969, *5 A*, (4), 66-75.

64. Constantin.
Evaluation de l'ionisation à l'aide d'un électroscope.
Bull. Mém. Soc. Radiol. méd., Fr., 1937, *25*, (6), 472-480.

65. Corbiere (G.).
Etude de l'influence de diverses substances neurotropes sur l'activité et les rythmes nycthéméraux de *Blatta orientalis*.
C.r. Séanc. Soc. Biol., 1965, *159*, 1793-1795.

66. Courvoisier (P.).
Luftdruckschwankungen und Wetterfühligkeit.
Arch. Met. Geophys. Bioklim., 1948, *2*, (1), 115-117.

67. Couturier (A.), Antoine (F.), Andrieu (A.).
Observations préliminaires sur le déterminisme de l'envol chez le Hanneton commun.
C.r. hebd. Acad. Sci., Paris, 1961, *252*, 190-192.

68. Crandell (M.E.), Bachman (C.H.).
Retention of inhaled air ions by humans .
Aerospace Med., 1968, *39*, (9), 972-974.

69. Cresswell (E.).
A cattle rangemeter.
Anim. Behav., 1959, *7*, 244-246.

70. Cresswell (E.), Harris (L.E.).
An improved rangemeter for sheep.
J. Anim. Sci., 1959, *18*, 1447-1451.

71. Csermely (T.J.).
On the biological action mechanism of air ions. A quantum biochemical point of view.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 317.

72. Cupcea (S.), Deleanu (M.), Fritz (T.), Gros (E.).
Action de l'air ionisé sur les animaux surrénaloprives.
Communle Acad. Rep. pop. rom., 1957, *1*, (7), 143-149.

73. Cupcea (S.), Deleanu (M.), Margineau (C.), Gros (E.).
Action de l'ionisation de l'air sur le choc anaphylactique chez le Cobaye.
Communle Acad. Rep. pop. rom., 1956, *4*, (6), 611-616.

74. Cupcea (S.), Deleanu (M.), Lenghel (I.), Elges (E.), Gros (E.).
L'aéro-ionisation dans quelques stations balnéo--climatiques de profil antirhumatique.
Igiena, 1958, *2*, 109-117.

75. Curie (C.).
Techniques de mesures physiques des charges électriques atmosphériques.
Ann. Inst. Hydr. Clim., 1969, *40*, (107), 67-84.

76. Damagnez (J.).
Cours de Bioclimatologie.
I.N.R.A. Tunisie édit., 1965, *1*, 102 p.

77. Danilov (A.D.).
Quelques problèmes relatifs aux processus de recombinaison et d'ionisation dans l'atmosphère terrestre.
Iskusst. Sputn. Zemli. S.S.S.R., 1963, *15*, 38-43.

78. Danon (A.), Sulman (F.G.).
Ionizing effect of winds of ill repute on serotonin metabolism.
Int. J. Biometeorol., 1969, *4*, (2), 135-136.

79. Danon (A.), Weller (C.P.), Sulman (F.G.).
Effect of dry hot desert winds on man.
Int. J. Biometeorol., 1969, *4*, (2), 71-72.

80. Danon (A.), Weller (C.P.), Sulman (F.G.).
Mechanisms of reaction to heat stress.
Int. J. Biometeorol., 1969, *4*, (2), 135-136.

81. David (TH. A.), Derau (J.V.), Kornblueh (I.H.), Mc Gurk (F.C.J.), Minehart (J.R.).
Ionization of the air. The sedating effect of polarized air.
Biometeorology, Pergamon Press, édit., 1960, *1*, 484-489.

82. David (TH. A.). Minehart (J.R.), Fasano (J.), Kornblueh (I.H.).
Observations of the effects of artificial ionization on the burned patient.
Premier Congr. Bioclimat. I.S.B.B., (Vienne), 1957, *25*, (9), 101-103.

83. Davis (J.B.).
Review of scientific information on the effects of ionized air on human beings and animals.
Aerospace Med., 1963, *34*, (1), 35-42.

84. Davis (F.K.), Swope (J.T.), Fisher (A.), Kornblueh (I.H.).
Measured ion densities.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 318.

85. Deleanu (M.C.).
Recherches sur l'ionisation de l'air comme facteur de milieu et son action sur l'organisme.
Z. ges. Hyg., 1962, *8*, (10), 776-781.

86. Deleanu (M.), Catalin (O.).
L'influence de l'aéroionisation négative sur le métabolisme énergétique.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *1*, 190 p.

87. Deleanu (M.), Dobos (S.), Florea (E.).
Wandlungen des Blutdrucks bei jugendlichen Blutdruckkranke, unter Einwirkung von negativer luftionentherapie.
Arch. phys. Ther., 1969, *3*, 185-188.

88. Denard (Y.), Voisin (R.).
Le syndrome du Vent d'Autan. Essai d'analyse météoropathologique.
Toulouse méd., 1960, *10*, 735-752.

89. Denier (A.).
Evaluation pratique des facteurs électriques de l'air, en particulier, l'ionisation et la description de l'ionomètre.
Gaz. med. Fr., 1936, 43, *11*, 893-897.

90. Dessauer (F.).
Zehn Jahre Forschung auf dem physikolioch-medizinischen Grinzgebiet.
Georg. Thieme Verlag, 1931, *1*, 13-17.

91. Devuyst (P.).
Meteorologie et médecine.
Rev. Quest. sci. ent., 1967, *138*, (4), 485-497.

92. Dryls (S.).
Contribution to mechanism of chemotactic response in *Paramecium caudatum*.
Anim. Behav., 1963, *11*, 393-396.

93. Duffee (R.A.), Koontz (R.H.).
Behavioural effects of ionized air on rats.
Psychophysiology, 1965, *1*, 347-359.

94. Duffee (R.A.), Koontz (R.H.).
Relationship between ionized air and age on rate performance.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 318.

95. Dugge (H.).
Erhöhter elektrische Körperwiderstand, ein Zeichen für Vagotomie bei Barometersturz oder Föhn.
Schweiz. med. Wschr., 1928, 614-619.

96. Duhot (E.).
Les climats et l'organisme humain.
Coll. Que sais-je, P.U.F. édit., (Paris), 1948, 1 vol., 127 p.

97. Dumortier (B.).
Application des capteurs de vibration à la détection des Insectes des céréales.
Bull. Soc. zool. Fr., 1966, *91*, 333-339.

98. Dumortier (B.).
Les méthodes modernes d'actographie.
C. r. Soc. fr. Comportement Anim., 1968, (11), 1-18.

99. Dziedzic (A.).
Description d'un compteur d'impulsions acoustiques et son emploi en biophysique.
Instrums. Labs., 1962, *29*, 3-7.

100. Eddy (A.).
A meteorologically oriented computer model of an ecosystem.
Trans. N.Y., Acad. Sci., 1969, *2*, (31), 618-628.

101. Eddy (W.), Streltzov (L.), Williams (J.), Sciortino (L.).
The effect of negative ionization on transplanted tumors.
Cancer Res., 1951, *11*, (4). 11-14.

102. Edstrom (G.).
Studies in natural and artificial atmospheric electric ions.
Acta. med. Scand., 1935, *61*, 1-83.

103. Edwards (D.K.).
A photographic method for recording activity and behaviour in a group of small animals.
Nature, Lond., 1959, *183*, 625-626.

104. Eichmeier (J.A.).
Measurements of the concentration of atmosphere ions and nuclei in closed rooms.
Int. Biometeorol. Congr. Montreux, 1969.
Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *1*, 190 p.

105. Eigeles (M.).
Applications of electro-aerosols in human and veterinary medicine.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *1*, 190 p.

106. Eigeles (M.).
A new method of generation of unipolarly ionized aerosols.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 318.

107. Elster (J.), Geitel (M.).
Uber die Existenz elektrischer Ionen in der Atmosphere.
Terr. Magn. atmos. Elect., 1898, *4*, 213-217.

108. Engelbreth-Holm (J.).
Normal blood counts in different seasons.
Blood, 1948, *3*, (5), 612-616.

109. Erban (L.).
A study of biochemical and haematological changes under the application of ionized air.
Int. J. Biometeorol., 1959, *4*, (3), 1-4.

110. Essler (W.O.), Folk (G.E., Jr).
Determination of physiological rhythms of unrestrained animals by radiotelemetry.
Nature, Lond., 1961, *190*, 4770-4790.

111. Farris (E.J.).
Apparatus for recording cyclical activity in the rat.
Anat. Rec., 1941, *81*, 357-361.

112. Farthouat (B.), Schreiber (G.O.S.).
Concentration des petits ions dans l'air.
Bioclimat., 1969, *2*, 29-32.

113. Findlay (J.J.).
Veterinary biometeorology.
Int. J. Biometeorol., 1963, *7*, (2), 137-143.

114. Folk (G.E., Jr).
Observations on the daily rhythms of body temperature - labile mammals.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 1962, *98*, (4), 954-959.

115. Fournie.
Les vents violents à Toulouse-Blagnac.
Thèse Doct. Ing., Paris, 1965, 51 p.

116. Fourton (J.A.).
Technique de mesures et d'enregistrement de l'ionisation atmosphérique.
Thèse Doct. Pharm., Bordeaux, 1956, 86 p.

117. Frey (A.H.).
A rational framework for interpreting the behavio-ral effects of atmospheric ions.
I.R.E. Trans. méd. Electron., 1961, *8*, (1), 12-16.

118. Frey (A.H.).
Human behaviour and atmospheric ions.
Psychol. Rev., 1961, *68*, (3), 225-228.

119. Frey (A.H.), Granda (R.E.).
Human reactions to air ions.
Proc. Int. Conf. Ioniz. Air, 1961, *2*, 12-19.

120. Frey (W.).
Die Ionisation der Luft in geschlossenen Räumen.
Schweiz. med. Wschr., 1952, *82*, 994-996.

121. Friedrich (H.).
Some experiments on the influence of air ions on man.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 325.

122. Frimescu (M.), Creteanu (V.).
L'ionisation de l'air et ses utilisations.
Hidrotch. Gospod. Apelor Meteor., 1966, *11*, (2), 102-105.

123. Frits (T.), Strauss (H.), Elges (E.), Deleanu (M.).
The action of cholesterol and positive air ions on spontaneous motility.
Igiena, 1963, *12*, 33-37.

124. Gage (J).
Photographic method of recording the activity of small animals using repetitive electronic flash.
Nature, Lond., 1966, *209*, 933-934.

125. Gonzales (P.).
Un « syndrome Chergui » observé au Maroc chez le chien.
Maroc méd., 1959, 95-99.

126. Gourmel (M.), Schreiber (G.), Canellas (J.).
Contribution à l'étude des variations de la charge spatiale et de ses incidences biologiques.
Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 1944, *103*, (1), 49-58.

127. Gouya (A.A.).
Etude des relations entre la radioactivité et les variables météorologiques.
Thèse Doct. Sci. Math., Rennes, 1965, 65 p.

128. Grevet (P.).
Mesure de l'intensité totale d'ionisation au voisinage du sol, séparation des différentes composantes.
Thèse Doct. Univ. Géophys., Paris, 1960, 66 p.

129. Grevet (P.)
Mesure de l'intensité totale d'ionisation au voisinage du sol et séparation de ses différents composants.
Thèse Doct. Sci., Paris, 1965, 52 p.

130. Griffiths (J.F.), Doney (J.M.)
Physiological adjustment to repeated wind exposure in sheep.
Anim. Prod., 1969, *11*, (4), 493-498.

131. Guillemot (P.), Ruckebusch (Y.)
Le Vent d'Autan. Structure météorologique et effets sur l'activité nycthémérale.
Rev. Med. vet., 1970, *33*, (6), 537-557.

132. Guillerm (R.), Badre (R.), Vogt (J.J.), Hee (J.).
Effets physiologiques et psychologiques chez l'homme d'un séjour de 24 heures en atmosphère chargée en ions positifs ou négatifs.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 319.

133. Guillerm (R.), Vogt (J.J.), Cnockaert (J.C.), Tessier (G.).
Effets physiologiques et psychophysiologiques de l'ionisation atmosphérique chez l'homme.
Ann. Inst. Hydr. Clim., 1969, *40*, (107), 133-142.

134. Guillou (J.).
Contribution à l'étude de l'ionisation atmosphérique.
Thèse Doct. Med., Paris, 1939, 78 p.

135. Halberg (F.).
Periodicity analysis. A potential tool for biometeorologists.
Int. J. Biometeorol., 1963, 7, (2), 167-191.

136. Hartaux (F.X.), Bachman (C.H.).
The effects of air ions on liquide evaporation rates.
Int. J. Biometeorol., 1968, *12*, (3), 251-261.

137. Helly.
Föhnwirkungen und Pathologie.
Schweiz. med. Wschr., 1920, 108-112.

138. Hemmingsen (A.M.), Krarup (N.B.).
Rhythmic diurnal variations in the oestrous phenomena of the rat and their susceptibility to light and dark.
Biol. Meddr., 1937, *13*, (17), 1-64.

139. Hicks (W.W.).
Clinical effects of artifically produced negative ions on respiratory patients.
J. Franklin Inst., 1960, *270*, (3), 237-239.

140. Holloway (R.J.).
A study of the physiological effects of ionized air upon growth and pituitary adrenal system of the normal rat.
Thèse Doct. Sci., San Francisco, 1952.

141. Hougardy (J.), Desmedt (J.E.).
Sound proofed room for experimentation in sensory physiology.
Archs. int. Physiol. Bioch., 1967, 75, 352-353.

142. Hunt (J. McV.), Schlosberg (H.).
General activity in the male white rat.
J. comp. Psychol., 1939, *28*, 23-38.

143. Jardel (J.C.).
Etude et réalisation d'un capteur de champ électrique terrestre et tentative de corrélation météoropathologique dans le cadre du développement du centre briançonnais de recherches bio-climatiques.
Thèse Doct. Med., Paris, 1960, 75 p.

144. Jones (M.D.R.).
The automatic recording of mosquito activity.
J. Ins. Physiol., 1964, *10*, 343-351.

145. Jordan (J.), Sokoloff (B.).
Air ionization, age and maze learning of rats.
J. Geront., 1959, *14*, 344-348.

146. Kalinichenko (N.), Rusesku (K.), Khucanu (G.), Tudose (K.), Marinesku (E.).
Etude de la conductibilité électrique de l'air.
Ann. sti. Univ. « Al. I. Cuza ». Román, 1968, *14*, 67-77.

147. Kamra (A.K.).
Effet du vent sur les variations diurnes et saisonnières du champ électrique atmosphérique.
J. atm. terr. Phys., 1969, *31*, 10-17.

148. Katrushenko (A.G.), Jushkin (A.A.).
Méthode d'étude de l'influence sur l'organisme animal de l'air ionisé et des champs électriques.
Fiziol. Zh. S.S.S.R., 1967, *53*, (1), 123-124.

149. Kayser (C.).
Le sommeil.
J. Physiol., Paris ,1949, *40*, A, 1-60.

150. Kelley (D.L.).
The influence of artificial atmospheric ionization on human motor performance.
Diss. Abstr., 1963, *24*, (5), p. 1916.

151. Kestner (O.), Laubmann (J.).
Uber eine physiologische Einwirkung des Föhns.
Strahlentherapie, 1931, *41*, 171-175.

152. Kingdon (K.H.).
Interaction of atmospheric ions with biological material.
Phys. Med. Biol., 1960, *5*, (1), 1-10.

153. Kirchner (H.).
Tageszeitliche Aktivitätsperiodik bei Carabiden.
Z. Vergl. Physiol., 1964, *48*, 385-399.

154. Komarov (N.M.).
Air ionization and its application to animal husbandry and veterinary medicine.
Dostizch. vet. Nauki, 1966, 270-282.

155. Komarov (N.M.).
Méthodes et quelques résultats de mesure de l'état d'ionisation de l'atmosphère libre.
Izv. Akad. Nauk., S.S.S.R., 1962, (1), 259-265.

156. Komarov (N.M.), Semenov (K.P.).
Air ionization in animals buildings.
Vest. sel'-khoz. Nauki., Mosk., 1966, *3*, (11), 92-97.

157. Komarov (N.M.), Volkov (G.C.).
Mechanism of the biological action of air ions.
Dokl. vses. Akad. sel-khoz. Nauk., 1967, *8*, 28-29.

158. Komarov (N.M.), Volkov (G.K.), Gnezdilov (N.A.), Andreev (I.A.).
Physiological and biochemical changes in calves exposed to ionized air.
Dokl. vses Akad. sel'-khoz, Nauk., 1966, *5*, 36-40.

159. Kornblueh (I.H.).
Artificial ionization of the air and its biological significance.
Clin. Med., 1962, *69*, 8-16.

160. Kornblueh (I.H.).
Brief review of the effects of artificial ionization of the air and of ultraviolet radiation.
Int. J. Biometeorol., 1958, *2*, (4), 1-4.

161. Kornblueh (I.H.).
Electric space charges and human heath.
Bull. Am. met. Soc., 1960, *41*, (7), 361-367.

162. Kornblueh (I.H.).
The physiological effects of artificially ionized air.
A. lect. natn. Insts. Hlth., Philadelphia, 1959.

163. Kornblueh (I.H.), David (T.A.), Minehart (J.R.).
Polarized air as an adjunct in the treatment of burns.
Amer. J. phys. Med., 1960, *39*, (6), 111-113.

164. Kornblueh (I.H.), Griffin (J.E.).
Artificial air ionization in physical medicine.
Amer. J. phys. Med., 1955, *34*, 618-631.

165. Kornblueh (I.H.), Griffin (J.E.).
Die künstliche Ionisation der Luft in der physikalischen Medizin.
Wett. Leben, 1956, *8*, 57-64.

166. Kornblueh (I.H.), Piersol (G.M.), Speicher (F.P.).
Relief from airbone allergies through air ionization.
N.Y. Med., 1956, *1*, (10), 101-109.

167. Kornblueh (I.H.), Piersol (G.M.), Speicher (F.P.).
Relief from pollinosis in negatively ionized rooms.
Amer. J. phys. Med., 1958, *37*, 18-27.

168. Kornblueh (I.H.), Speicher (F.P.).
Present status of artificial unipolar ionization of the air.
Amer. Congr. Phys. Med. Rehab., Los Angeles, 1957, *13*, (9), 7-12.

169. Kornblueh (I.H.), Speicher (F.P.).
The difficulties encountered in evaluation of the effects of artificially ionized air.
Bioclimat. Congr., Vienna, 1957, *25*, (9), 13-19.

170. Koyranski (B.B.), Ukvolverg (L.Y.), Dmitriev (M.V.), Kolodina (N.S.).
Effets de l'ionisation atmosphérique sur l'homme : capacité physique de travail; capacité intellectuelle de travail.
Cig. Sanit., 1961, *26*, 29-39.

171. Krueger (A.P.).
Air ions and physiological function.
J. gen. Physiol., 1962, *45*, (4), part II, 233-241.

172. Krueger (A.P.).
Etude préliminaire de la signification biologique des ions atmosphériques.
Scientia, Paris, 1969, *104*, (1489-90), 1-16.

173. Krueger (A.P.).
Some biologic properties of gaseous ions.
J. Albert Einstein med. Cent., 1960, (8), 79-88.

174. Krueger (A.P.), Andriese (P.C.), Kotaka (S.).
The biological mechanism of air ion action. The effect of CO_2+ inhaled air on the blood level of 5-OH-tryptamine in mice.
Int. J. Biometeorol., 1963, *7*, (1), 3-16.

175. Krueger (A.P.), Andriese (P.C.), Kotaka (S.).
Small air ions : their effect on blood levels of serotonin in terms of modern physical theory.
Int. J. Biometeorol., 1968, *12*, (3), 225-229.

176. Krueger (A.P.), Kotaka (S.).
Air ions and pulmonary clearing.
Int. Biometeorol. Congr,, Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *2*, 241 p.

177. Krueger (A.P.), Kotaka (S.).
The effects of air ions on brain level of serotonin in mice.
Int. J. Biometeorol., 1969, *13*, (1), 25-38.

178. Krueger (A.P.), Kotaka (S.), Andriese (P.C.).
Some physiological and pathological effects of gaseous ions.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 320.

179. Krueger (A.P.), Kotaka (S.), Andriese (P.C.).
Studies on the biological effects of gaseous ions, a review.
Special monograph series; Biometeorol. Research Centre edit., Leiden, 1966, *1*, (3), 31 p.

180. Krueger (A.P.), Kotaka (S.), Nishizawa (K.), Kogure (Y.), Takenobu (M.), Andriese (P.C.).
Air ions effects on the growth of silkworn (*Bombyx Mori L.*).
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 320.

181. Krueger (A.P.), Levine (H.B.).
The effect of unipolar positively ionized air on the course of Coccidioidomycosis in mice.
Int. J. Biometeorol., 1967, *11*, (3), 279-288.

182. Krueger (A.P.), Smith (R.F.).
An enzymatic basis for the acceleration of ciliary activity of negative air-ions.
Nature, Lond., 1959, *183*, (4671), 1332-1333.

183. Krueger (A.P.), Smith (R.F.).
Effects o fair ions on isolated rabbit trachea.
Proc. Soc. exp. Biol. Med., 1957, *96*, 807-809.

184. Krueger (A.P.), Smith (R.F.).
Effects of air ions on the living mammalian trachea.
J. gen. Physiol., 1958, *42*, 69-82.

185. Krueger (A.P.), Smith (R.F.).
Parameters of gaseous ions effects on the mammalian trachea.
J. gen. Physiol., 1959, *42*, (5), 959-969.

186. Krueger (A.P.), Smith (R.F.).
The biological mechanisms of air ions action 5 OH-tryptamine endogenous mediator of positive air ions effect on the mammalian trachea.
J. gen. Physiol., 1960, *43*, 533-540.

187. Krueger (A.P.), Smith (R.F.), Millar (J.W.).
The effects of air-ions on the trachea of primates.
Proc. Soc. exp. Biol. Med., 1959, *102*, 355-360.

188, Krueger (A.P.), Smith (R.F.), Reed (E.).
Negative air ion effects on the concentration and metabolism of 5 OH-tryptamine in the mammalian respiratory tract.
J. gen. Physiol., 1960, *44*, (2), 269-276.

189. Kuzmina (T.R.).
The effect of inhalation of air ions on the electro-cheminal properties of blood during exsanguination and recovery of cats.
Int. J. Biometeorol., 1967, *11*, (2), 191-194.

190. Kuzmina (T.R.).
The influence of unipolar air ions on the dynamics of changes of some electro-chemical properties of blood in the process of dying and subsequent reanimation.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger edit., (Amst.), 1967, *3*, p. 320.

191. Lacey (O.L.).
A revised procedure for the calibration of the activity-wheel.
Am. J. Psychol., 1944, *57*, 412-420.

192. Lamb (H.H.).
The new look of climatology.
Nature, Lond., 1969, *223*, (5212), 1209-1215.

193. Langevin (A.).
Equipement pour l'enregistrement de l'ionisation atmosphérique.
Nature, Paris, 1955, *6*, 220-221.

194. Langevin (A.).
Les ions atmosphériques et la vie.
Nature, Paris, 1962, *330*, 401-410.

195. Langevin (A.).
Sur une nouvelle méthode de production d'aérosols aqueux porteurs d'ions oxygène négatifs permettant d'étudier l'action de gros ions Langevin de synthèse sur les êtres vivants.
C. r. hebd. Acad. Sci., 1962, *254*, 3329-3330.

196. Langevin (P.).
Sur les ions de l'atmosphère.
C. r. hebd. Acad. Sci,, 1905, *140*, 232-234.

197. Laub (J.).
Uber Schwankungen atmosphärischer Ionen und ihre biologische Wirkung.
Bull. schweiz. Akad. med. Wiss., 1960, *16*, (4), 292-304.

198. Ledoux (A.), Torossian (C.), Bastien.
Un nouveau type d'actographe à cellule photo-électrique pour l'étude du comportement des Insectes sociaux.
Insectes soc., 1962, *9*, 347-353.

199. Lee (D.H.K.).
Biometeorology in occupational health.
Bull. Amer. met. Soc., 1963, *44*, (8), 495-498.

200. Lee (B.).
A shielded sound-attenuating chamber.
Psychophysiology, 1967, *3*, 255-257.

201. Löfqvist (J.), Stenram (H.).
An electronic actograph for automatic registration of animal locomotion.
Acta Univ. lund., 1965, *2*, (9), 1-9.

202. Mc Clelland (W.J.).
An electronic apparatus for recording movement in small animals.
J. exp. Analysis Behav., 1965, *8*, 215-218.

203. Mc Donald (R.D.), Bachman (C.H.), Lorenz (P.J.).
Some psychomotor and physiological tests on humans exposed to air ions.
Aerospace Med., 1967, *38*, (2), 145-148.

204. Magdon (E.), Cziharz (H.), Winterfeld (G.).
Etudes de l'action des petits ions négatifs atmosphériques sur la mutabilité de *Drosophila melanogaster*.
Z. Naturf. B., 1964, *19* (9), 863-864.

205. Martin (J.), Heet (B.H.).
Etude bioclimatique de la France.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst), 1969, *2*, 241 p.

206. Medioni (J.).
Une nouvelle technique d'enregistrement actographique, applicable à la Drosophile et à des animaux plus petits.
C. r. Séanc. Soc. Biol. 1964, *158*, 2185-2189.

207. Mehrotra (P.N.), Mullick (D.N.), Kehar (N.D.).
Seasonal variations in the blood composition of sheep.
J. Anim. Sci., 1954, *13*, (4), 1026-1037.

208. Miles (G.H.).
Telemetering techniques for periodicity studies.
Symp. on rhythmic functions in the living system.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 1962, *98*, (4), 858-891.

209. Minehart (J.R.), David (T.A.), Kornblueh (I.H.).
Artificial ionization and the burned patient.
Prog. nucl. Energy VII, 1958, *3*, (6), 363-367.

210. Minehart (J.R.), David (T.A.), McGurk (F.J.), Kornblueh (I.H.).
The effect of artificially ionized air on post operative discomfort.
Amer. J. phys. Med., 1961, *40*, (2), 56-62.

211. Mörikofer (W.).
Meteorologie und Meteorobiologie des Alpenföhns.
Verh. schweiz. naturf. Ges., 1950, *11*, 115-123.

212. Mörikofer (W.).
Meteorologische Gesichtspunkte zur Föhn - und Wetterfühligkeit.
Bull. schweiz. Akad. med. Wiss., 1952, *8*, (5-6), 494-499.

213. Mulhleisen (R.).
La concentration des petits ions au ras du sol dans les bâtiments et dans l'atmosphère libre.
Ann. Inst. Hydr. Clim., 1969, *40*, (107), 111-114.

214. Nielsen (C.B.), Harper (H.A.).
Effect of air-ions on succinoxidase activity of the rat adrenal gland.
Proc. Soc. exp. Biol. Med., 1954, *86*, 753-756.

215. Nielsen (E.T.).
Use of the electronic flash to record the activity of small animals.
Nature, Lond., 1957, *179*, 1308-1309.

216-a. Norinder (H.), Siksna (R.).
Ion density of the atmospheric air near the ground during thunderstorm conditions.
Ark. Geophys., 1951, *1*, 453-472.

216-b. Olivereau (J.M.).
Complexe hypothalamo-hypophysaire et régulation du métabolisme hydrominéral chez le Rat albinos soumis à l'action des ions atmosphériques négatifs.
Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 1970, *105*, (3), 430-441.

216-c. Olivereau (J.M.).
Effets de l'air ionisé négativement sur la surrénale et le choix des solutions salines du Rat albinos.
C. r. Séanc. Soc. Biol., 1965, *159*, (3), 571-575.

216-d. Olivereau (J.M.).
Effets de l'air ionisé positivement sur la surrénale, le choix des solutions salines et le métabolisme hydrominéral du Rat albinos.
C. r. Séanc. Soc. Biol., 1969, *163*, (11), 2258-2262.

216-c. Olivereau (J.M.).
Influence de l'aéro-ionisation sur l'hypophyse du rat albinos.
Annls Endocr., 1969, *30*, (6) ; 776-782.

217. Otarova (D.).
The influence of aero-ions on blood coagulation.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 322.

218. Park (O.), Woods (A.).
A modified Hemmingsen - Krarup mammalian activity recorder.
Proc. Soc. exp. Biol. Med., 1940, *43*, 366-370.

219. Park (O.).
Studies in nocturnal ecology. Further analysis of *Passalus cornutus* and description of audio-frequency apparatus.
J. Anim. Ecol., 1937, *6*, 239-253.

220. Pasic (H.).
Biological effects of the foehn wind in the region of the Dinaric Alps.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *2*, 241 p.

221. Pasquinelly (F.).
Extension des procédés mécaniques d'enregistrement à la bande infra-rouge et son application à l'étude des mouvements physiologiques de très faible amplitude.
Onde élect., 1954, *34*, 279-281.

222. Pavlik (I.).
The destiny of air ions in the respiratory pathways.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1967, *3*, p. 322.

223. Pavlik (I.).
The fate of light air ions in the respiratory pathways.
Int. J. Biometeorol., 1967, *11*, (2), 175-185.

224. Peacock (J.L.).
An ultrasonic device for recording activity.
Am. J. Psychol., 1962, *75*, 648-652.

225. Peacock (J.L.).
Ultrasonic measurement and automatic analysis of general activity in the rat.
J. compar. physiol. Psychol., 1966, *62*, 284-288.

226. Pelosse (J.L.).
L'alternance de la veille et du sommeil chez des populations humaines (pasteurs lapons, paysans suédois, finlandais, frisons et tyroliens).
Thèse Doct. Sci., Paris, 1966, 210 p.

227. Philipsborn (E.).
Ein Beitrag zur pathologischen Physiologie der Blutlenkozyten.
Strahlentherapie, 1936, *55*, 143-149.

228. Phipps (J.).
Laboratory observations on the activity of *Acridoidea*.
J. Insect. Physiol., 1963, *9*, 531-543.

229. Pogrund (R.S.).
Biological synergisms produced by carbon monoxide and positive ions.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *2*, 241 p.

230. Pontikis, Meyer, Rebotier.
Différentes méthodes de mesure de la charge électrique atmosphérique.
Bioclimat, 1969, *2*, (12), 11-15.

231. Reiter (R.).
Neuere Untersuchungen zum Problem der Wetterabhängigkeit des Menschen.
Arch. Met. Geophys. Bioklim., 1953, *4*, (3), 21-33.

232. Rheinstein (J.).
The biological action of atmospheric ions.
Research, Lond., 1959, *12*, (10-11), 424-428.

233. Richter (C.P.).
Animal behaviour and internal drives.
Q. Rev. Biol., 1927, *2*, 307-343.

234. Risse (J.).
Contribution à l'étude de l'influence des facteurs météorologiques sur l'éclosion de certaines maladies.
Rec. Med. Vet., 1969, *145*, (1), 27-39.

235. Robinson (N.).
The electrical state of the atmosphere. The ionization state of the atmosphere as a function of the meteorological elements and of various sources of ions.
Israël J. Technol., 1964, *2*, (1), 110-116.

236. Robinson (N.), Dirnfeld (F.S.).
The ionization state of the atmosphere as a function of meteorological elements and of various sources of ions.
Int. J. Biometeorol., 1963, *6*, (2), 101-110.

237. Rodda (M.), Watson (D.O.), Wilson (G.D.).
The Canterbury sound-proof room.
Aust. J. Psychol. Res., 1963, *15*, 206-210.

238. Roeder (G.W.).
Der Föhnwind in seinen physikalischen und meteorologischen Erscheinungen und Wirkungen.
Uberwetterischen Ges. Hanan, 1864, *1*, 5-13.

239. Rohden (H.).
Einfluss des Föhns auf das körperlich - seclische Befinden.
Archs. Psychol., N.Y., 1933, *89*, 605-611.

240-a. Roth (M.).
Comparaison des méthodes actographiques.
Rev. Zool. agric. appl., 1961, (7-9), 1-14.

240-b. Rouch (E.).
Panorama climatique.
S.U.A.D. Haute-Garonne édit., Toulouse, 1968, 108 p.

241. Ruckebusch (Y.).
Etude E.E.G. et comportementale des alternances veille-sommeil chez l'âne.
C. r. Séanc. Soc. Biol., 1963, *157*, (4), 840-844.

242. Ruckebusch (Y.).
Etude comparée du sommeil physiologique chez les Equidés, Ruminants, Porcins et Carnivores adultes.
Bull. Soc. Sci. vet. méd. comp., Lyon, 1962, *62*, (4), 375-390.

243. Ruckebusch (Y.), Barbey (P.), Guillemot (P.).
Les états de sommeil chez le Cheval (*Equus caballus*).
C. r. Séanc. Soc. Biol. Fr., 1970 (sous presse).

244. Ruoco (J.N.).
Effect of ionized air on visual reaction time of human subject.
Diss. Abstr., 1963, *23*, (9), 3502-3503.

245. Salter (S.H.).
A note on the recording of egg activity.
Anim. Behav., 1966, *14*, 41-43.

246. Sargent (F.).
The nature and nurture of biometeorology.
Bull. Amer. met. Soc., 1963, *44*, (8), 483-488.

247. Scapagnini (U.), Vandenbroeck (R.), de Schaepdryer (A.J.F.), Heymans (C.).
Simultaneous estimation of 5-hydroxytryptamine and 5-hydroxyindol-3 acetic acid in rat brain.
Biochem. Pharmac., 1969, *18*, (4), 938-940.

248. Schaefer (K.E.), Lord (G.P.), Dougherty (J.H.).
Distribution of inhaled ions in the tracheo-bronchial tree of dogs.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *2*, 241 p.

249. Scharfetter, Seeger, Jelinek.
Schlaganfall und Wetter.
Wien. Klin. Wschr., 1936, 233-239.

250. Schechter (M.S.), Dutky (S.R.), Sullivan (W.N.).
Recording circadian rhythms of the cockroach with a capacity-sensing devise.
J. écon. Ent., 1963, *56* (1), 76-79.

251. Schley (P.).
Zur Anwendung künstlich erzengter Ionendichten in Tierställen.
Züchtungskunde, 1968, *40*, (4), 316-322.

252. Schmid (A.).
Biologische Wirkungen der Luft. Elektrizität mit Berücksichtigung der künstlichen Ionisierung.
Elektriz. ind. Betr., 1936, *1*, 69-77.

253. Schorer (G.).
Über biologische Wirkungen ionisierter Luft.
Schweiz .Med. Wschr., 1952, *82*, 350-354.

254. Schreiber (G.O.S.).
Concentration of small ions (or conductibility) in the air.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *2,* 241 p.

255. Schulte (H.F.J.).
A review of air ionization and its effects on living systems.
Proc. natn. Electron. Conf., 1962, *18,* 834-837.

256. Semenov.
Biological effect of artificially ionized air in pullet houses.
Trudy gos. Inst. eksp. Vet., 1966, *32,* 244-251.

257. Shipton (H.W.), Emde (J.W.), Folk (G.E. Jr).
A multiple point recorder of small animal locomotory activity.
Proc. Iowa Acad. Sci., 1959, *66,* 407-412.

258. Silverman (D.), Kornblueh (I.H.).
Ionization and the E.E.G., a preliminary report.
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1957, *9,* 180-191.

259. Silverman (D.), Kornblueh (I.), Sannit (T.), Piwoz (S.).
Effect of artificial ionization of the air on the electroencephalogram.
Amer. J. phys. Med., 1957, *36,* (12), 352-358.

260. Sinaya (M.S.).
The influence of unipolar air ions on the electrophoretic motility of erythrocytes.
Int. J. Biometeorol., 1967, *11,* (2), 187-189.

261. Skilling (H.H.), Beckett (J.C.).
Control of air-ions density in rooms.
J. Franklin Inst., 1953, *256,* 423-434.

262. Skinner (B.F.).
The measurement of spontaneous activity.
J. gen. Psychol., 1933, *9,* 3-23.

263. Slater (L.).
Biotelemetry.
Pergamon Press édit., (New-York), 1962, 1 vol.

264. Slonaker (J.R.).
The normal activity of the white rat at different ages
Comp. Neur. Psychol., 1907, *17,* 342-359.

265. Slote (L.).
An experimental evaluation of man's reaction to an ionized air environment.
Proc. Int. Conf. Ioniz. Air.
Am. Inst. Climat. édit., (U.S.A.), 1961, *2*, (20), 1-22.

266. Smith (K.), Kerrington (L.).
The effect of high concentrations of light negative atmospheric ions on the growth and activity of albinos rats.
J. ind. Hyg. Toxicol., 1935, *18*, 283-288.

267. Smith (K.U.).
An improved stabilimeter method for recording activity in laboratory animals.
J. exp. Psychol., 1940, *27*, 89-93.

268. Sollberger (A.).
Biological rhythm research.
Elsevier Publishing Company, (Amst.), 1965, *1*, 190-191.

269. Soulairac (A.), Charpentier (J.).
Nouvelle méthode d'analyse et de mesure automatique des comportements animaux.
C. r. hebd. Acad. Sci., Paris, 1966, *262*, 692-695.

270. Steinhart (P.).
Der schlaf des Pferdes.
Z. Vet. Kde, 1937, *49*, 145-157, ibid. 193-232.

271. Stephan (E.).
Climate and productivity of domestic animals.
Dts. Tierärztebl. Wschr., 1968, *75*, 550-553.

272. Stewart (C.C.).
Variations in daily activity produced by alcohol and by changes in barometric pressure and diet with a description of recording methods.
Am. J. Physiol., 1898, *1*, 40-56.

273. Storm Van Leeuwen (W.), Bienz (Z.), Varekamp (H.).
Über die Bedentung von Klimatergenen (Miasmen) für die Ätiologie allergischer Krankheiten.
Z. Immun. Forsch., 1925, *43*, 490-498.

274. Storm Van Leeuwen (W.), Booij (J.), Israel (H.), Van Niekerk (J.).
Studien über die physiologische Wirkung des Föhns. 4. Mit. Luftdruckschwankungern, Luftzusammensetzung und Föhn.
Beitr. Geophys., 1935, *44*, 400-431.

275. Storm Van Leeuwen (W.), Booij (J.), Van Niekerk (J.).
Luftelektrizität und Föhnkrankheit.
Beitr. Geophys., 1933, *38*, 407-425.

276. Storm Van Leeuwen (W.), Booij (J.), Van Niekerk (J.).
Studien über physiologische Wirkung des Föhns.
Betr. Geophys., 1933, *39*, 105-115.

277. Storm Van Leeuwen (W.), Booij (J.), Van Niekerk (J.), Petschmacher (L.).
Studien über die physiologische Wirkung des Föhns.
Münch. Med., Wschr., 1932, *79*, 293-295.

278. Strassburger (H.).
Der Einfluss des Föhns auf den Wasserhaushalt.
Münch. Med. Wschr., 1942, 625-634.

299. Strauss (H.), Deleanu (M.), Fritz (T.), Toader (E.), Toader (A.).
A propos de l'intervention des aéroions dans le processus de régulation de la lipémie et de la cholestérolémie.
Int. J. Biometeorol., 1968, *12*, (3), 241-249.

280. Strauss (H.), Rodica (P.), Deleanu (M.).
L'influence de l'aéroionisation négative sur le cycle œstral chez la ratte.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets and Zeitlinger édit., (Amst.), 1969, *2*, 241 p.

281. Sullivan (W.N.), Schechter (M.S.), Dutky (S.R.), Keller (J.C.).
Monitoring electrophysiological responses of cockroaches for space research.
J. écon. Ent., 1962, *55*, (6), 985-997.

282. Sulman (F.G.), Hirschman (N.), Pfeifer (J.).
Effect of hot, dry, desert winds (Siroco, Sharav, Hamsin) on the metabolism of hormones and minerals.
Proc. Lucknow Symp. Arid Zones, 1964, 89-95.

283. Surde (E.).
Observations on the physiological effect of electroaerosols of man.
Int. Biometeorol. Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology, Swets and Zeitlinger edit., (Amst.), 1969, *2*, 241 p.

284. Sverchkov (A.N.).
Sur les études de l'ionisation naturelle de l'air.
Gig. Sanit., 1966, *31*, (11), 106-108.

285. Sverchkov (A.N.), Lepeshenkov (V.F.).
Influence of artificial ionization of air on the embryonic development of chicks.
Vest. sel'-khoz. Nauki, Mosk., 1968, *9*, 69-71.

286. Szymanski (J.S.).
Eine methode zur untersuchung der Ruhe und Aktivitätsperioden bei Ticren.
Arch. Anat. Physiol., 1914, *158*, 343-383.

287. Tchijevski (A.L.).
Die Wege des Eindringens von Luftionen in den Organismus une die physiologische Wirkung von Luftionen.
Acta Med., Scand., 1934, *83*, 219-272.

288. Tchijevski (A.L.).
Recherche sur le facteur électrique de l'air atmosphérique maintenant la vie des animaux.
Ann. Acad. Colombiana Cienc. exact. fis. nat. Bogota, 1940, *4*, 182-194.

289. Terry (R.A.), Harden (D.G.), Mayyasi (A.M.).
Effects of negative air ions, noise sex and age on maze learning in rats.
Int. J. Biometeorol., 1969, *13*, (1), 39-49.

290. Thorpe (W.H.), Hinde (R.A.).
An inexpensive type of sound proof room suitable for zoological research.
J. exp. Biol., 1956, *33*, 750-755.

291. Trabert (W.).
Innsbrucker Föhnstudien. III. Der physiologische Einfluss der Föhn und des föhnlosen Wetters.
Denkschr. Wien, Akad. Wiss., 1907, 81-93.

292. Tromp (S.W.).
A survey of recent advances in electro-biometeorology.
Biometeorol. Research Center édit., Leiden, 1968, Report 10.

293. Tromp (S.W.).
Biometeoroloy I.
Proc. Int. Bioclimat. Congr., London, 1960.
Pergamon Press edit., (Oxford), 1962, 1 vol., 687 p.

294. Tromp (S.W.).
First International Biometeorological Conference of the Middle-East.
Laklouck Lebanon, 31-03, 4-04, 1966.
Int. J. Biometeorol., 1967, *11*, (2), 227-229.

295. Tromp (S.W.).
Influence of weather and climate on blood pressure, blood composition and physico-chemical state of the blood (period 1955-1959).
Bioclimat. Research Center édit., (Leiden), 1959, 7, (8), 1-21.

296. Tromp (S.W.).
Human biometeorology.
Int. J. Biometeorol., 1963, 7, (2), 145-158.

297. Tromp (S.W.).
Medical biometeorology (Weather, climate and the living organism).
Elsevier Publ. Co. edit., (Amst.), 1963, 1 vol., 991 p.

298. Tromp (S.W.), Sargent (F.).
A survey of human biometeorology.
Notes Wld. met. Org. R. 160, 1964, *78*, (65), 113 p.

299. Tromp (S.W.), Weihe (WH.).
Biometeorology II.
Int. Biometeorol. Congr., Pau, 1963.
Pergamon Press edit., (Oxford), 1967, 1144 p.

300. Tromp (S.W.), Weihe (W.H.).
Biometeorology III, Int. Biometeor. Cong., Rutgers Univ. U.S.A., 1966.
Swets and Zeitlinger Publ. Co. edit., (Amst.), 1967, 374 p.

301. Tromp (S.W.), Weihe (W.H.).
Biometeorology IV. Biometeorol. Cong., Montreux, 1969.
Swets and Zeitlinger edit., 1969-1970, 2 vol., 190 et 241 p.

302. Tyczka (S.).
Untersuchunger der qualitativen und quantitativen Anderunger der Luftionisation als meteorotropischer Faktor und als lufthygienischer Index.
Int. Biometeorol Congr., Montreux, 1969.
Biometeorology IV, Swets Zeitlinger edit., (Amst.), 1969, *2*, 241 p.

303. Vasiliev (L.L.).
Theory and practice of therapy with ionized air.
Leningr. med. Zh., 1953, *1*, 1-53.

304. Vasiliev (L.L.).
Atmospheric ions and health.
Punjab med. J., 1958, 7, 270-272.

305. Vasiliev (L.L.).
The physiological mechanisms of aeroions.
Amer. J. phys. Med., 1960, *39*, (3), 124-128.

306. Velinov (P.).
Ionisation de la basse ionosphère par les rayons cosmiques.
C. r. Acad. Bulg. Sci., 1966, *19*, (4), 281-284.

307. Viers (G.).
Eléments de climatologie.
Fernand Nathan édit., (Paris), coll. FAC, 1968, 1 vol., 224 p.

308. Volkov (G.K.).
Air ionisation increases the reproductivo-activity of bulls.
Veterinariya, 1963, *40*, 9-47.

309. Volkov (G.K.).
Artificially ionized air, a stimulator of growth and development of animals.
Trudy mosk. vet. Akad., 1966, *49*, 232-234.

310. Volkov (G.K.).
Influence of ionized air on bulls.
Veterinariya, 1968, *4*, 84-86.

311. Volkov (G.K.).
Ionized air for prophylaxis and treatment of respiratory diseases in animals.
Mater. Godichoi nauchnoi Konf., 1966, 96-97.

312. Volkov (G.K.), Andreev (I.A.).
Influence of ionized air on housed calves.
Veterinariya, 1966, *4*, 92-93.

313. Volkov (G.K.), Andreev (I.A.).
Ionized air reduce the incidence and severity of calf scours.
Veterinariya, 1966, *4*, 94-95.

314. Voronin (N.M.), Ovcharova (V.F.), Spiridonova (F.V.).
Les réactions physiologiques de l'homme et des animaux aux diverses conditions météorologiques.
Vop. kompl. klimat., 1963, *1*, 135-140.

315. Waterman (F.A.).
A kinesimeter for studying the spontaneous activity of small animals.
Science, N.Y., 1947, *106*, 499-501.

316. Wilbur (K.M.).
A method for the measurement of activity of small animals.
Science, N.Y., 1936, *84*, 274-280.

317. Winsor (T.), Beckett (J.C.).
Biological effects of ionized air in man.
Amer. J. phys. Med., 1958, *37*, 83-89.

318. Wood-Gush (D.G.M.).
Time-lapse photography : a technique for studying diurnal rhythms.
Physiol. Zool., 1959, *32*, 272-283.

319. Worden (J.).
The effect of air ion concentration and polarity on the carboxy-dioxide capacity of mammalian blood plasma.
St. Bonaventure Univ. Sci. Stud., 1954, *16*, 81-90.

320. Worden. (J.L.).
Some biological effects of aeroionization.
Proc. Int. Conf. Ioniz. Air. Philadelphia, 1961, *12*, (1), 1-15.

321. Worden (J.L.), Thompson (J.R.).
Air ion concentration and the growth of cells in vitro.
Anat. Rec., 1956, *124*, (2), 500-511.

322. Yaglou (C.P.), Benjamin (L.C.), Brandt (A.).
Physiological changes during exposure to ionized air.
Heat. Pip. Air Condit., 1933, *5*, 422-430.

323. Zandt (T.E.).
The neutral atmosphere and the quiet ionosphere.
Int. Geophys. Ser., *11*, (1), 509-559.

324. Zenker (H.).
Uber die Meteorotropie des Schlafes und ihre Beeinflussung durch das Talklima.
Arch. phys. Ther. Baln. Klim., 1967, *19*, (3), 297-303.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE. — DONNÉES MÉTHODOLOGIQUES .. 9

Chapitre premier. — *Méthodologie climatique* .. 11

A. Définitions du temps et du climat .. 12

B. Dispositifs d'enregistrement .. 13

I. — Vent.
II. — Température.
III. — Pression atmosphérique.
IV. — Humidité atmosphérique.
V. — Nuages et précipitations.
VI. — Rayonnement solaire.
VII. — Du champ électrique terrestre.
VIII. — De l'ionisation.
IX. — Cartogrammes.

C. Définition du microclimat .. 33

D. Réalisation d'une enceinte expérimentale .. 34

Chapitre II. — *Explorations fonctionnelles* .. 37

A. Activité générale .. 37

1. Dispositifs actographiques.
2. Traduction graphique.

B. Etats de vigilance .. 44

1. Electro-encéphalographie.

2. Electropolygraphie.

DEUXIÈME PARTIE. — DONNÉES BIOMÉTÉOROLOGIQUES .. 47

Chapitre premier. — *Structure météorologique de vent d'Autan* .. 51

I. — Origine et modalité.
II. — Direction dominante.

III. — Domaine d'extension et limites.
IV. — Périodicité.
V. — Effets météorologiques.
a) Hygrométrique.
b) Thermique.
c) Barométrique.
d) Electrique.

Chapitre II. — *Retentissement biologique chez l'homme* 59

I. — Barosensibilité.
II. — Anémosensibilité.
III. — Electrosensibilité.

Chapitre III. - - *L'aéro-ionisation* 63

A. Naturelle 63

1. Facteur d'ionisation
2. Nature des ions atmosphériques.
3. Caractéristiques des ions.
4. Facteurs de variation.

B. Artificielle 69

1. Production.
2. Mesure.

Troisième partie. — DONNÉES EXPÉRIMENTALES. 73

Chapitre premier. — *Effets du vent d'Autan sur l'activité nycthémérale* 77

A. Souris 77

B. Lapin 78

1. Activité nycthémérale du lapin.
2. Variations liées à l'Autan.

Chapitre II. — *Effets du vent d'Autan sur les états de sommeil* 81

A. Activité corticale normale du cheval 81

B. Effets de l'Autan sur le sommeil 83

Chapitre III. — *Discussion générale* 85

Conclusions 89

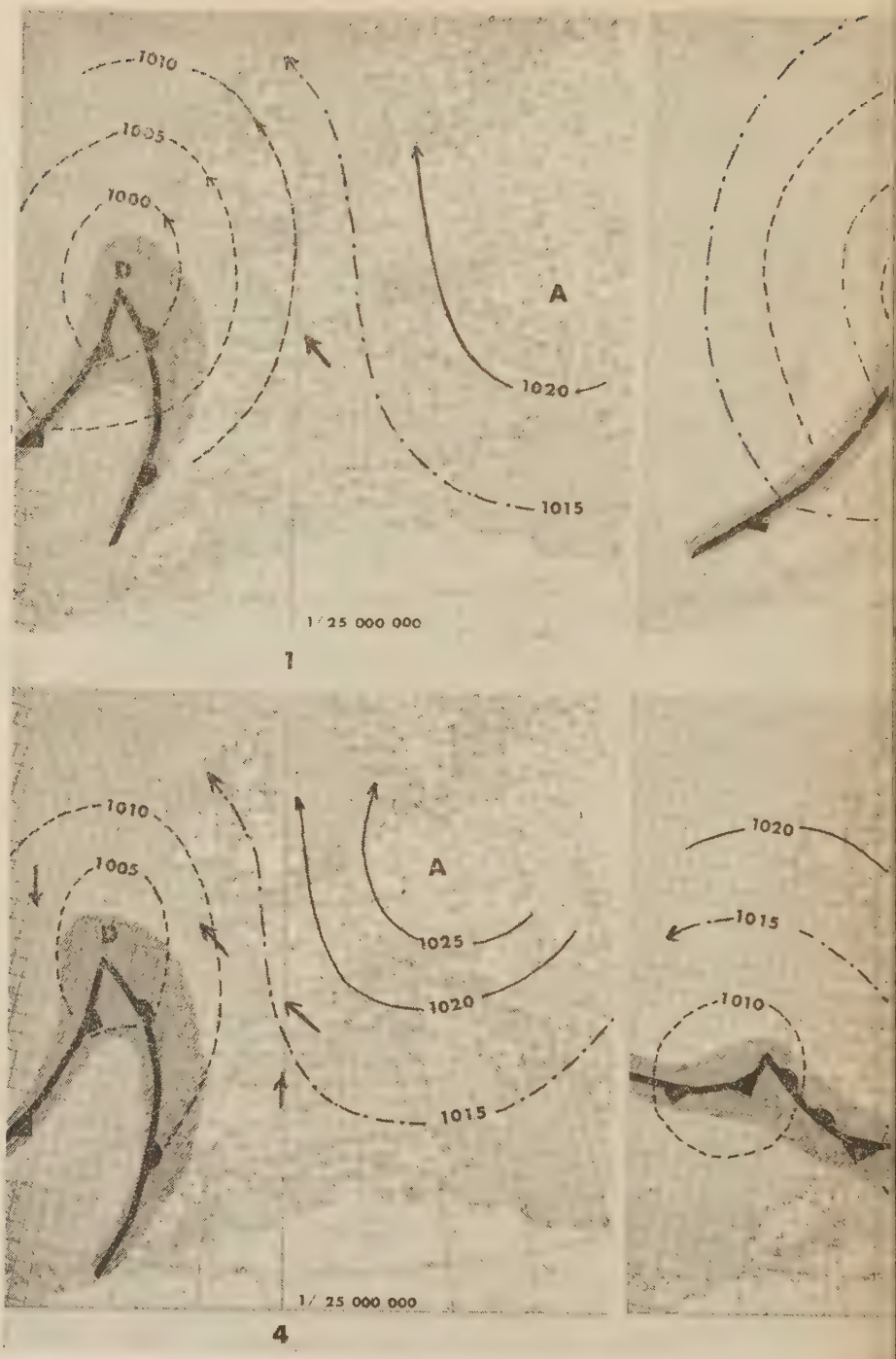

FIGURE 1 : ORIGINE ET ÉVOLUTION DE L'AUTAN.

Projection stéréographique des isobares, du sens des vents et de la perturbation associée : fronts froids (▲———▲), fronts chauds (●———●) et corps pluvieux (▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒).

- Les vents d'Autan noir (en 1-2-3) et blanc (en 4-5-6) ont une origine commune, commandée par l'opposition entre l'anticyclone continental (A) et la dépression atlantique (D) qui s'approche plus ou moins de l'Aquitaine.

3

6

Leur évolution est différente : l'Autan noir (en 1) ne persiste que durant la translation vers le S-E de la dépression apportant des précipitations sur la France (en 2), sauf au niveau du trou de Foehn (★) de la vallée de la Garonne. L'inversion du vent (en 3) correspond à la fin de l'Autan et au mauvais temps. L'Autan blanc (en 4) évolue selon une trajectoire dépressionnaire méridionale. Les perturbations passent au Sud (en 5) et le pivotement de l'anticyclone vers le Nord fait apparaître un vent faible (en 6) avec persistance du régime anticyclonique, donc de beau temps.

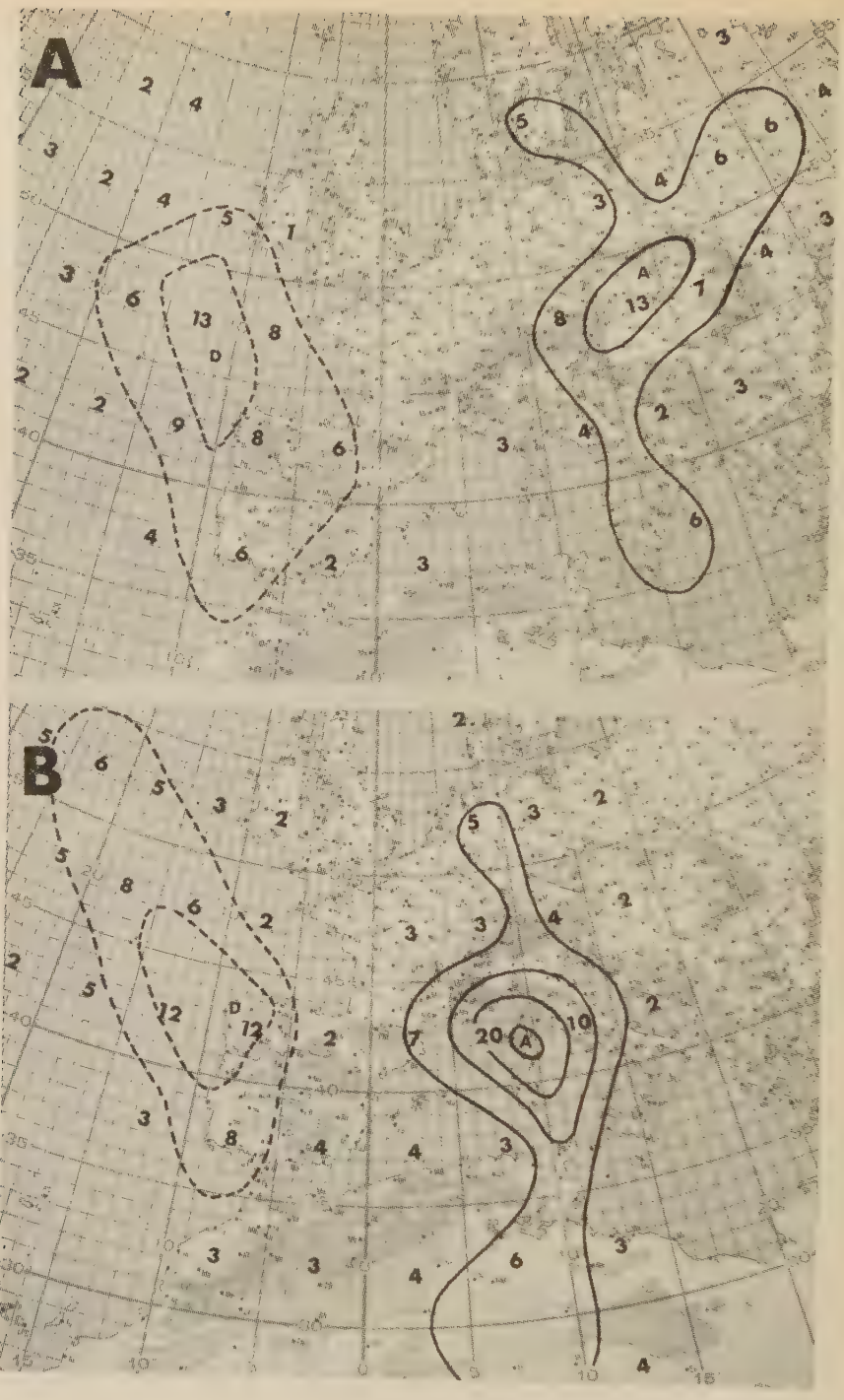

FIGURE 2 : POSITIONS DES CENTRES DE DÉPRESSION ET ANTICYCLONIQUES A L'ORIGINE DU VENT D'AUTAN VIOLENT.

En A, *au sol*, apparition d'une zone de concentration maximale des centres dépressionnaires (D) axés NNW-SSE, centrés au nord-ouest de l'Espagne. L'anticyclone (A) de l'Europe Centrale se localise avec un maximum de concentration sur l'Autriche.

En B, *en altitude*, déviation légère de la dépression vers l'est. Les hautes pressions sont centrées avec un maximum bien marqué sur le golfe de Gênes.

Les chiffres correspondent à une distribution de fréquences.

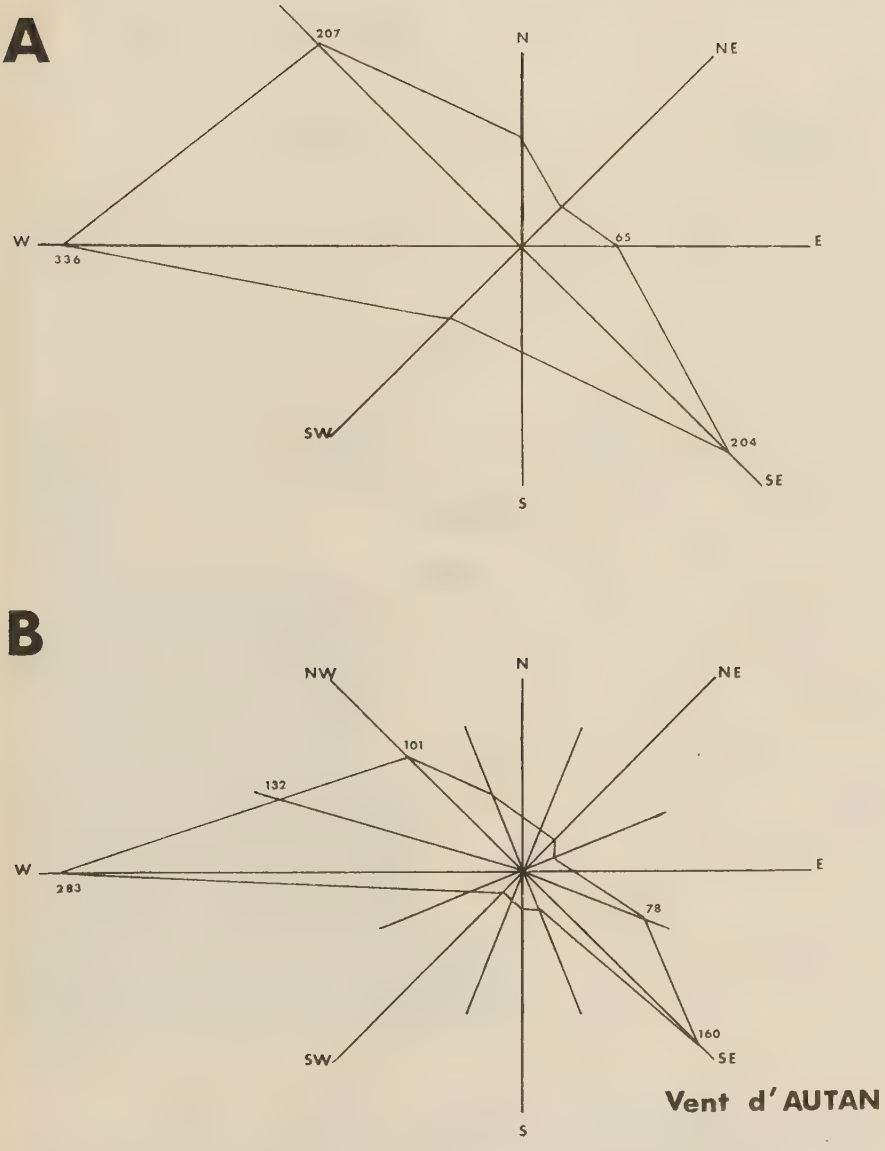

FIGURE 3. FRÉQUENCE DE LA DIRECTION DES VENTS A TOULOUSE.

Fréquence pour mille de la direction des vents à Toulouse, en A, de 1926 à 1939, et en B, pour 1967-1968.

La rose des vents fait apparaître deux secteurs prédominants : le secteur W (SW et NW) et le secteur plus étroit ESE.

La répartition sur une rose à 16 branches se résume, pour 1967-1968, à :

W = W + WSW + WNW = 44,9 p. 100
NW = NW + NNW + N = 18,1 p. 100
SE = SE + ESE + E = 28,6 p. 100
Divers = NE + NNE + SW + SSW + SSE + ENE = 8,4 p. 100.

FIGURE 4 : LIMITES, EXTENSION ET DIRECTION DU VENT D'AUTAN.

Carte schématique de la vallée de la Garonne et des principaux affluents de la rive droite. Noter la délimitation de l'Autan modéré (1) et violent (2) né de l'opposition entre un anticyclone continental centré sur l'Europe méridionale et d'une dépression centrée sur le N-W de l'Espagne.

— Le courant anticyclonique résultant tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour de l'anticyclone et adopte une direction de S-E. Il survole la Méditerranée, fait naître le Marin qui souffle sur le Bas-Languedoc. Canalisé entre les défilés de la Montagne Noire et des Corbières, il s'engouffre dans la plaine garonnaise par le seuil de Naurouze.

— Le courant cyclonique tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre autour de la dépression et adopte une direction SW à SSE, au nord de l'Espagne. Il franchit les Pyrénées et, par un effet de Foehn, devient chaud et sec (le sirocco pyrénéen). Ce dernier est dévié vers le sud-est par la dépression dynamique qu'il crée. Il s'associe au courant précédent dans la plaine garonnaise pour former le vent d'Autan.

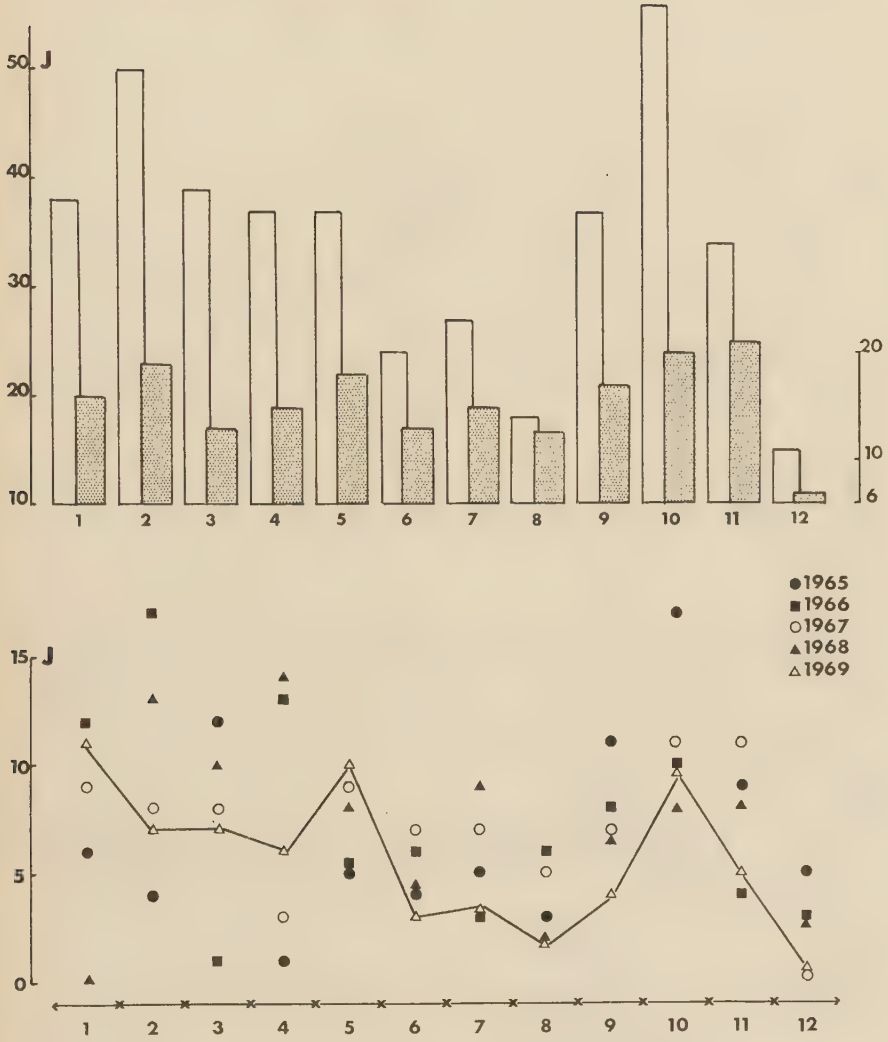

FIGURE 5 : RÉPARTITION MENSUELLE DU VENT D'AUTAN

(DIRECTION 120° OU 140°; $V \geqslant 5$ m/s) A TOULOUSE DE 1965 A 1969.

Colonnes blanches : nombre de jours; colonnes grises : nombre de périodes de vent d'Autan pour les 12 mois des années 1965 à 1969 (de 6 à 20).

Le graphique indique, en bas, que la distribution mensuelle du nombre de jours d'Autan pour 1969 (△) ne suit pas fidèlement la distribution moyenne. Les mois de février et d'octobre subissent 25 p. 100 des jours d'Autan d'une année.

La durée moyenne minimale d'une période d'Autan est de 1,4 j (en août) et maximale de 3 j (en mars); les indications de 3, 6 ou 9 j ne correspondent pas à des données météorologiques.

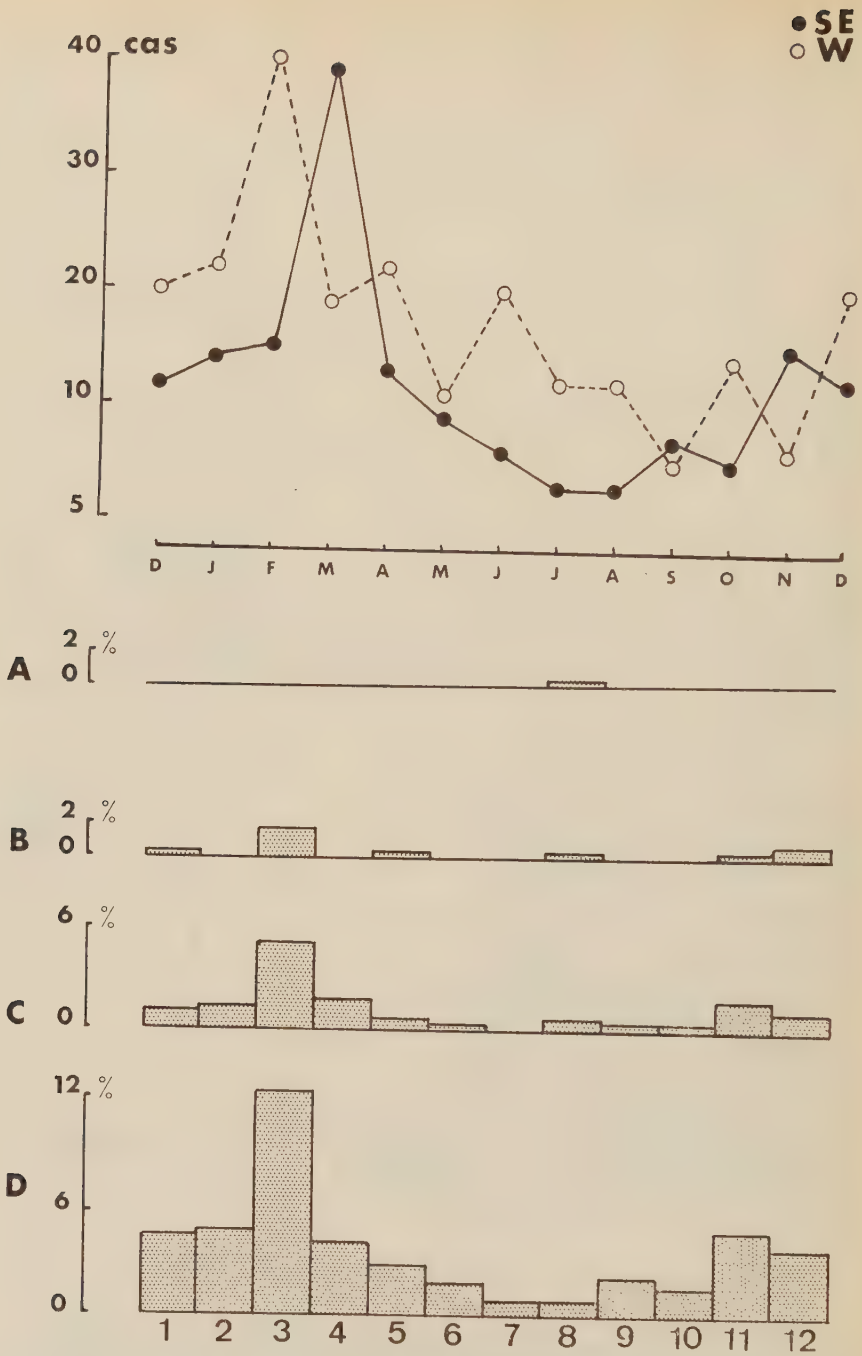

FIGURE 6 : RÉPARTITION MENSUELLE DES VENTS A TOULOUSE DE 1954 A 1964.

En haut, fréquence mensuelle moyenne des vents ($V \geqslant 10$ m/s) d'Autan (●) et d'Ouest (○). Remarquer l'opposition de leurs répartitions en février-mars, et la concentration importante des vents violents de décembre à avril (62 p. 100). La prédominance du secteur SW et N (59 p. 100) sur le secteur SE-Autan (41 p. 100) est également manifeste.

En bas, répartition mensuelle de l'Autan selon sa vitesse (tranches de 5 en 5 m/s),

En A : 31 m/s $\leqslant$ V (2 p. 100)
En B : 26 m/s $\leqslant$ V $\leqslant$ 30 m/s (11 p. 100)
En C : 21 m/s $\leqslant$ V $\leqslant$ 25 m/s (25 p. 100)
En D : 16 m/s $\leqslant$ V $\leqslant$ 20 m/s (62 p. 100)

Noter que le vent d'Autan est à la fois le plus violent et le plus fréquent en mars et sa limite supérieure n'excède pas 35 m/s.

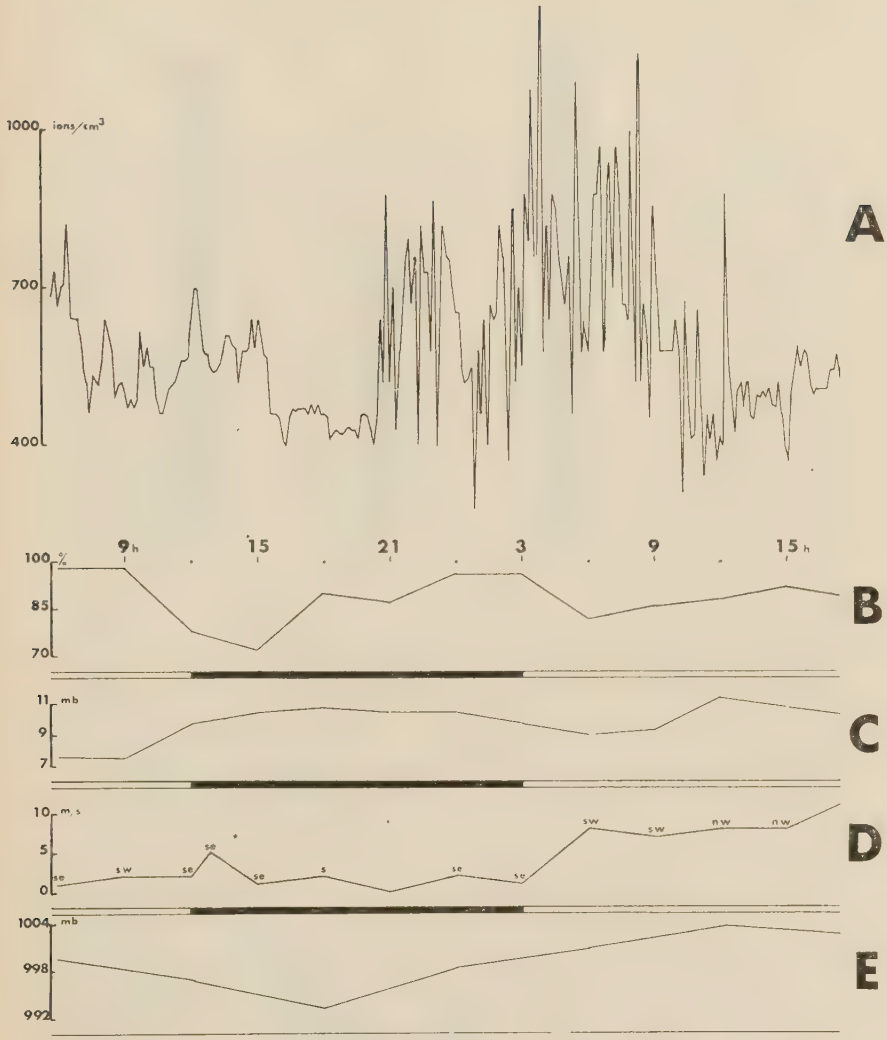

FIGURE 7 : VENT D'AUTAN ET IONISATION ATMOSPHÉRIQUE.

Représentation des concomitants météorologiques d'une brève période (29 au 30 janvier 1970) de vent d'Autan faible, indiquée par les traits horizontaux noirs en B, C, D, E.
Enregistrement continu de la densité d'aéro-ions positifs en A, associé aux relevés tri-horaires de l'hygrométrie (en B), de la tension de vapeur (en C), de la vitesse et de la direction du vent (en D) et des variations barométriques (en E)
L'apparition de l'Autan (à 12 h) se traduit par une importante baisse hygrométrique accompagnée d'une baisse modérée et momentanée, au cours de la soirée (18 h), de la pression atmosphérique. Noter les variations de l'ionisation positive caractérisée surtout par d'énormes fluctuations (21 h). La spécificité de ce phénomène est soulignée par le fait qu'il disparaît dès que souffle le vent NW (le 30 à 12 h).

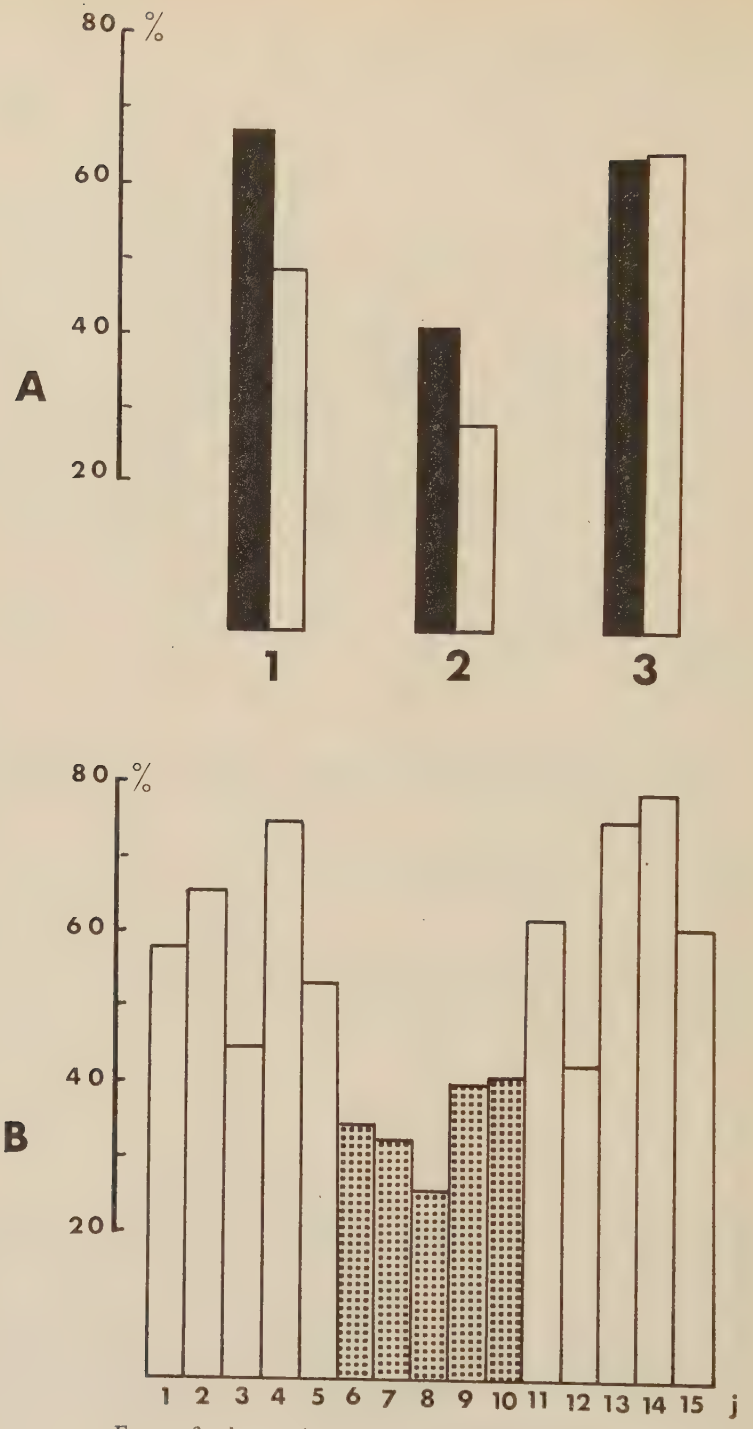

FIGURE 8 : ACTIVITÉ NYCTHÉMÉRALE CHEZ LE LAPIN.

En A est indiqué le pourcentage moyen de repos nocturne (colonne noire) et diurne (colonne blanche) durant les 5 jours qui précèdent l'Autan (1), pendant une période de 5 jours de vent d'Autan (2) et durant les 5 jours consécutifs à cette période (3).

En B, est indiqué le pourcentage quotidien de ce repos avant et après une période de 5 jours d'Autan (en pointillé).

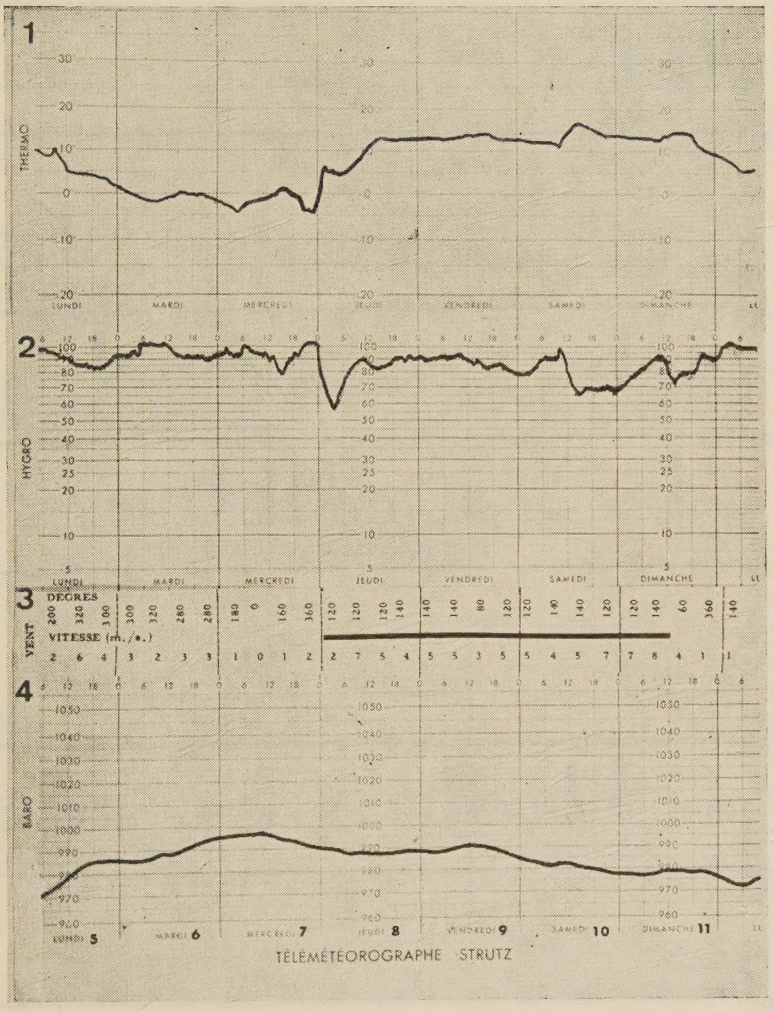

FIGURE 9 : EFFETS MÉTÉOROLOGIQUES DU VENT D'AUTAN.

Enregistrement continu des variations thermiques (en 1), hygrométriques (en 2), barométriques (en 4), associées à l'indication de la direction (Nord = 360°) et de la vitesse du vent (en 3) au cours d'une période de vent d'Autan indiquée par le trait horizontal.

Noter, au cours de la nuit du 7 au 8 janvier 1970, au début de l'Autan, une chute notoire de l'humidité relative, ainsi qu'un fort relèvement de la température (de — 5° C à + 6° C).

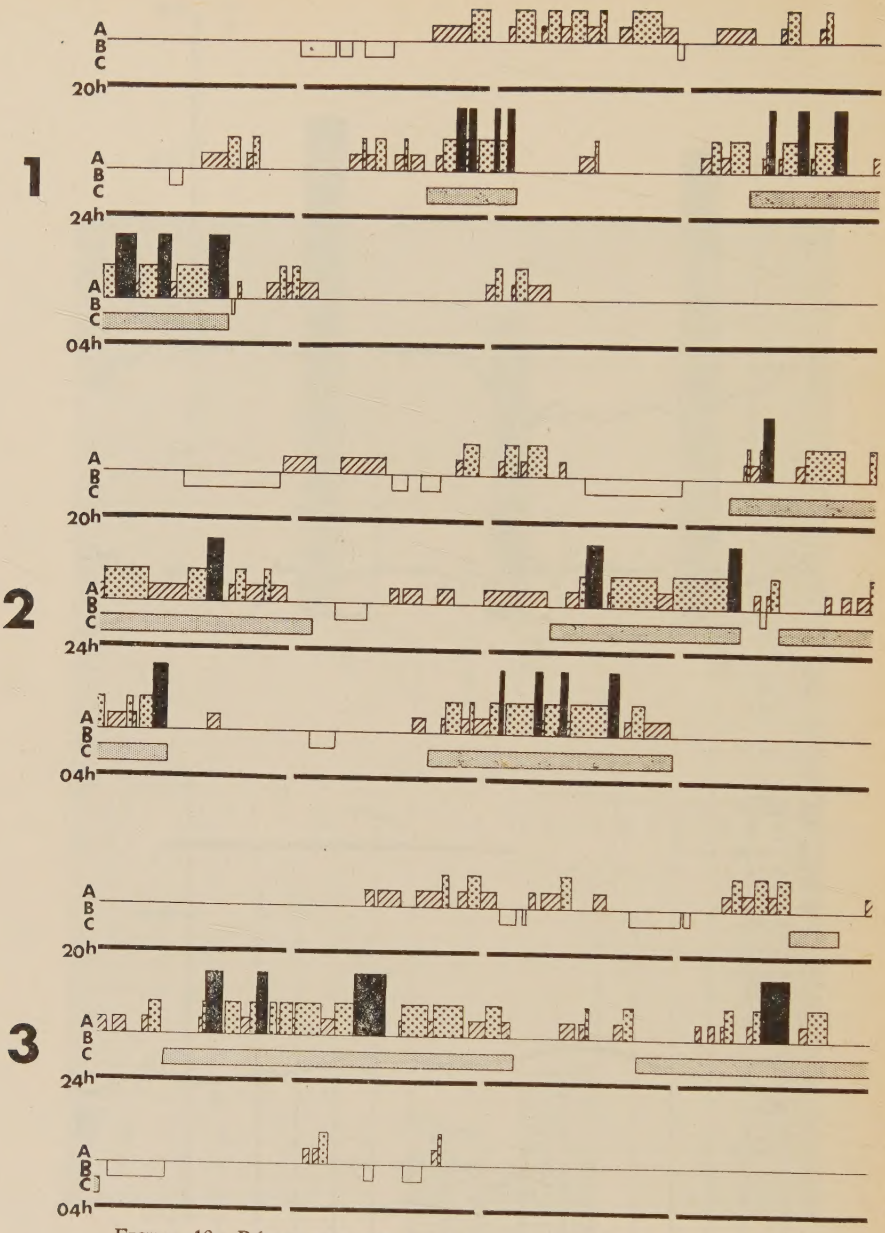

FIGURE 10 : RÉPARTITION DES ÉTATS DE SOMMEIL CHEZ UN CHEVAL 48 H AVANT, AU DÉBUT ET A LA FIN D'UNE PÉRIODE DE VENT D'AUTAN.

Pour chaque nuit, sont indiqués, en A : les états de somnolence (en hachuré), le sommeil à ondes lentes, SL (en pointillé) et le sommeil paradoxal, SP (en noir). En 1, témoin; en 2, nuit du 7-8 janvier = début d'Autan; en 3, nuit du 10-11 janvier = fin d'Autan.

La ligne B correspond aux périodes de prise de nourriture (rectangle blanc) et la ligne C, à celles du décubitus (rectangle gris).

Noter la plus forte dispersion des phases de sommeil, normalement réparties entre minuit et 5 h, au début de l'Autan. On ne retrouve, pour des valeurs globales identiques, que 40 p. 100 de la durée totale de sommeil entre minuit et 5 h, le 7-8 janvier.

Noter également la durée anormalement longue des phases de sommeil à ondes lentes en début d'Autan (en 2) et celles des phases de sommeil paradoxal en fin d'Autan (en 3).